

Министерство образования и науки ДНР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Донецкий национальный технический университет»



**XIX Международная научно-
техническая конференция**

**«АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ. ПОИСК МОЛОДЫХ»**

**В рамках 5-го Международного
научного форума «Инновационные
перспективы Донбасса»**

21-23 мая 2019 года

**Сборник научных трудов
конференции**

Донецк
2019

**Министерство образования и науки ДНР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Донецкий национальный технический университет»**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ.
ПОИСК МОЛОДЫХ**

**XIX Международная научно-техническая
конференция аспирантов и студентов
(в рамках 5-го Международного научного форума
«Инновационные перспективы Донбасса»)**

21-23 мая 2019 года

**Сборник научных трудов
конференции**

**Донецк
2019**

УДК 681.51
ББК 32.965
А22

Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых : сборник научных трудов XIX международной научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 21-23 мая 2019 г. - Донецк : ДОННТУ, 2019. – 420 с.

В сборник вошли материалы докладов, представленные на XIX Международной научно-технической конференции «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых», которая проведена факультетом компьютерных информационных технологий и автоматики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Сборник предназначен для студентов и аспирантов высших технических учебных заведений, специалистов в области автоматизации технологических процессов и производств и компьютерных информационных технологий.

Представлены результаты исследований и разработок молодых ученых из ведущих технических вузов и научных заведений Донецка, Луганска, Российской Федерации (Санкт-Петербург, Севастополь, Ростов-на-Дону, Пенза, Новочеркасск) и Республики Беларусь (Минск).

That is the collection of scientific articles of young researches from technical high schools of Donetsk, Lugansk, Russian Federation (St. Petersburg, Sevastopol, Rostov-on-Don, Penza, Novochoerkassk) and Republic of Belarus (Minsk).

Организационный комитет: Маренич К. Н. – председатель оргкомитета, Неежмаков С. В. – зам. председателя оргкомитета, Дубинка Е. С. – отв. секретарь, Ульшин В. А., Солёный С. В., Дубинин С. В., Довгань А. Ю., Паслён В. В., Хламов М. Г., Чернышев Н. Н., Кузнецов Д. Н.

Секретариат оргкомитета: Быкова А. М.; Фунтиков М. Н.; Синюкова Т. Б.

Ответственность за содержание, новизну и оригинальность поданного материала несут авторы статей.

Утверждено ученым советом факультета компьютерных информационных технологий и автоматики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Протокол № 7 от 17.05.2019 г.

УДК 681.51
ББК 32.965

УДК 621. 395.62

**МЕТОДИКА Понижения стоимости кабельной продукции
оптической сети за счет оптимизации количества оборудования
для различных схем построения оптического дерева****Герасимов В.И., магистрант; Лозинская В.Н., к.т.н., доц.***(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

Переход поставщиков инфокоммуникационных услуг к новому уровню скоростей передачи и качества обслуживания выявил несколько направлений для подключения новых абонентов. Первое направление – использование существующей кабельной инфраструктуры для формирования сети доступа (DOCSIS [1], DSL, PLC [2] и др.), второе направление – прокладка новой сети доступа. Для последнего случая также существует несколько направлений организации сетей доступа: гибридные сети, на основе проводных технологий (FTTx [3]), гибридные сети на основе беспроводных технологий (RF-сети [4]) и оптические сети доступа (PON [5]).

Так как стоимость оптической абонентской оптической сети сильно зависит от стоимости кабельной продукции и стоимости сплиттеров, при обеспечении заданного уровня мощности сигнала на входе ONU (Optical Network Unit), то задача определения количества и месторасположения сплиттеров для достижения минимального уровня вносимых потерь с минимальной стоимостью кабельной продукции является актуальной.

Целью работы является понижение стоимости кабельной продукции оптической сети за счет оптимизации количества оборудования для различных схем построения оптического дерева.

PON является отдельной структурой, которую необходимо правильно спланировать, спроектировать с обеспечением всех требований работоспособности. Для данной сети требования работоспособности основаны на свойствах распространения светового сигнала по волокну: затухания и дисперсии. Если дисперсионные характеристики можно компенсировать использованием специального оборудования, например волокна с отрицательным показателем хроматической дисперсии, то величина затухания достаточно критична для проектирования PON. Кроме обеспечения вышеперечисленных характеристик абоненту желательно получать качественный сигнал. Одним из показателей качественного приема для волоконно-оптических систем передач (ВОСП) является уровень мощности оптического сигнала перед поступлением на вход фотоприемника. Численное выражение для расчета этой оценки следующее

$$P_L = P_0 - A - A_0, \quad (1)$$

где P_0 – уровень мощности сигнала при поступлении в оптическую линию;

A – затухание сигнала при прохождении его к абоненту;

A_0 – дополнительные потери.

Затухание сигнала при прохождении к абоненту зависит от топологии пассивной оптической сети. На данный момент существует три топологии оптической сети – «дерево»,

«звезда» и «шина». Общий вид для выражения затухания сигнала при прохождении к абоненту имеет вид:

$$A = \alpha_{OB} \cdot L + n_{HC} \cdot \alpha_{HC} + m_{PC} \cdot \alpha_{PC} + k_{СП} \cdot \alpha_{СП}, \quad (2)$$

где α_{OB} – километрическое затухание в оптической кабеле;

L – длина линии связи;

n_{HC} – число неразъемных соединителей/ мест сварки;

α_{HC} – среднее значение затухания мощности оптического излучения неразъемного оптического соединителя на стыке между строительными длинами кабеля на участке регенерации;

m_{PC} – число разъемных соединителей;

α_{PC} – затухание мощности оптического излучения разъемного оптического соединителя;

$k_{СП}$ – число сплиттеров;

$\alpha_{СП}$ – затухание мощности оптического излучения сплиттера.

Оценка дополнительных потерь формируется, исходя из следующего выражения:

$$A_o = \alpha_{ШМ} + \alpha_{\varepsilon} + \alpha_{ISI}, \quad (3)$$

где $\alpha_{ШМ}$ – затухание из-за собственных шумов источника;

α_{ε} – дополнительные потери за счет шумов из-за излучения оптической мощности при передаче «0»;

α_{ISI} – дополнительные потери из-за шумов межсимвольной интерференции.

$$\alpha_{ШМ} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{\sqrt{1 - (Q \cdot \sigma_{ШМ})^2}} \right], \quad (4)$$

Q – Q -фактор;

$\sigma_{ШМ}$ – параметр собственных шумов лазера, который можно оценить по следующей формуле (5)

$$\sigma_{ШМ}^2 = 4 \cdot BW_R \cdot 10^{\frac{RIN}{10}}, \quad (5)$$

где BW_R – полоса пропускания фотоприемника;

RIN – значение параметров собственных шумов источник, обычно находится в пределах $-120 < RIN < -140$ (дБм).

Q -фактор – параметр, отражающий качество сигнала цифровой системы передачи. Существует определенная функциональная зависимость Q -фактор сигнала и коэффициента ошибок. Например, при необходимом уровне ошибок 1×10^{-10} , $Q = 6,63$.

Дополнительные потери за счет шумов из-за излучения оптической мощности при передаче «0» определяются по формуле:

$$\alpha_{\varepsilon} = 10 \lg \left(\frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1} \right), \quad (6)$$

ε – отношение мощности оптического излучения источника при передаче «0» к мощности оптического излучения при передаче «1». Обычно данное значение находится в промежутке $0,01 \leq \varepsilon \leq 0,1$.

За последние годы методы сварки оптических волокон достаточно усовершенствовались, поэтому потерями на сварных соединителях на практике пренебрегают.

Кроме вышеперечисленного условия (1) также учитывают эксплуатационный запас кабеля примерно в 3 дБ.

Для оценки стоимости кабельной продукции воспользуемся следующими соображениями: максимальная длина линии должна быть такой, чтобы линия была сбалансирована и потери на ней удовлетворяли условию (1). Сбалансированность линии необходима для получения на входе каждого терминала примерно одинакового уровня оптической мощности. Данное условие продиктовано выражением (1) и необходимостью принимать на станционном терминале сигналы равные по уровню. Большие перепады сигналов достаточно сложны для системы детектирования.

Затухание, вносимое разветвителем можно оценить по следующей формуле:

$$A_{СП} = 10\lg\left(\frac{100\%}{D\%}\right) + \log_2(N-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,2\lg\left(\frac{100\%}{D\%}\right), \quad (7)$$

где D – процент мощности, выводимой на каждый порт;

N – количество выходных портов.

Так, применяя различные формулы для различных коэффициентов деления можно изменять длину линий, а значит стоимость кабельной продукции.

Пусть имеется следующая примерная схема подключения абонентов к мультисервисной сети поставщика услуг (рисунок 1).

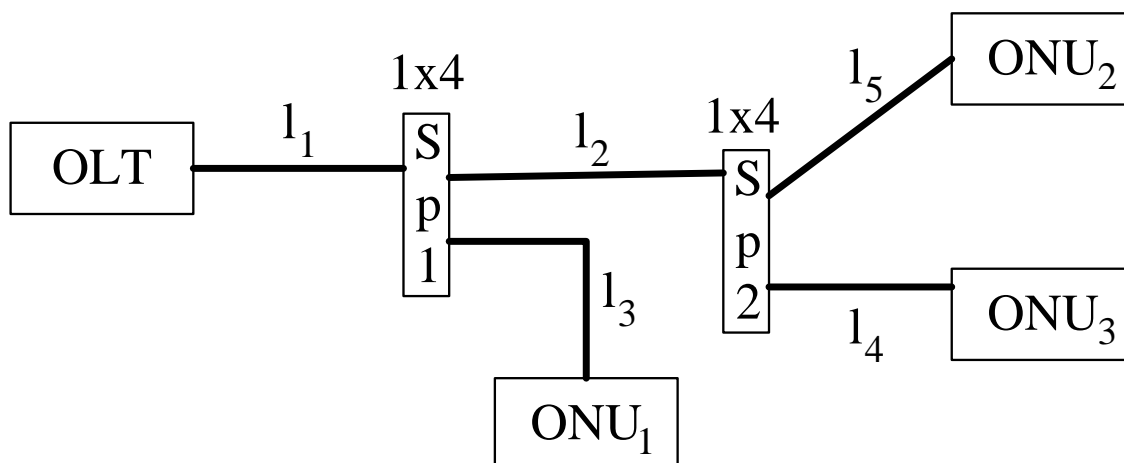


Рисунок 1 – Примерная схема подключения абонентов

По данной схеме предлагается оценить максимально возможную удаленность абонентов от OLT (Optical Line Terminal). Так как у сплиттеров ($Sp1$ и $Sp2$) коэффициент деления 1×4 , а возможных комбинаций мощностей каждого выходного порта 5, то общее число наборов составляет 5^4 . Так как, по сути неважно к какому именно порту подключается абонент, то число таких наборов меньше.

Рассмотрим несколько случаев распределения мощностей.

Мощность распределена равномерно между всеми портами сплиттеров, тогда выражения (1) и (2) можно переписать для оценки минимальной длины кабеля, для получения требуемого уровня мощности на входах ONU_i . Для определенности зададимся параметрами $\alpha_{OB} = 0,35$ дБ/км; $\alpha_{PC} = 0,3$ дБ. Для оптических трансиверов (оптический передатчик – фотоприемник) систем PON класса C динамический диапазон составляет 29 дБ.

$$A_{Spi} = 10\lg\left(\frac{100\%}{25\%}\right) + \log_2(N-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,2\lg\left(\frac{100\%}{25\%}\right) = 7,58 \text{ дБ.}$$

Тогда необходимо решить следующую систему неравенств:

$$\begin{cases} 0,35 \cdot (l_1 + l_2 + l_5) + 6 \cdot 0,3 + 2 \cdot 7,58 + 3 < 29 \\ 0,35 \cdot (l_1 + l_3) + 4 \cdot 0,3 + 1 \cdot 7,58 + 3 < 29 \end{cases}$$

Окончательное выражение выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} l_1 + l_2 + l_5 < 25,8 \\ l_1 + l_3 < 49,2 \end{cases}$$

Из этого выражения очевидно, что при соединении через 1 сплиттер можно достичь большую длину линии связи, но при этом и большую стоимость. А при варианте в 2 сплиттера организовать можно линию с меньшей длиной, а значит с меньшей стоимостью.

Мощность распределена неравномерно между портами обоих сплиттеров, в соотношении 5/25/25/45.

$$A^{(1)}_{sp} = 10 \lg \left(\frac{100\%}{5\%} \right) + \log_2(N-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,2 \lg \left(\frac{100\%}{5\%} \right) = 15,4 \text{ дБ};$$

$$A^{(2-3)}_{sp} = 10 \lg \left(\frac{100\%}{25\%} \right) + \log_2(N-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,2 \lg \left(\frac{100\%}{25\%} \right) = 7,58 \text{ дБ};$$

$$A^{(4)}_{sp} = 10 \lg \left(\frac{100\%}{45\%} \right) + \log_2(N-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,2 \lg \left(\frac{100\%}{45\%} \right) = 4,78 \text{ дБ};$$

Пусть ONU_2 подключается к порту с наименьшей мощностью, а ONU_3 – к порту с наибольшей. Тогда мощности в 5% не хватает, чтобы достичь оптического баланса, т.е. абонент, подключенный к такому порту не будет обслуживаться. Формула 5/25/25/45 для схемы подключения с двумя сплиттерами не работает. Минимальная мощность порта должна быть не менее 10%.

Для различных схем подключения и различных сплиттеров получены зависимости максимально допустимых длин линии от процента выделяемой мощности на выходной порт ONU . Для определенности примем значения мощностей в 15%, 20% и 25%.

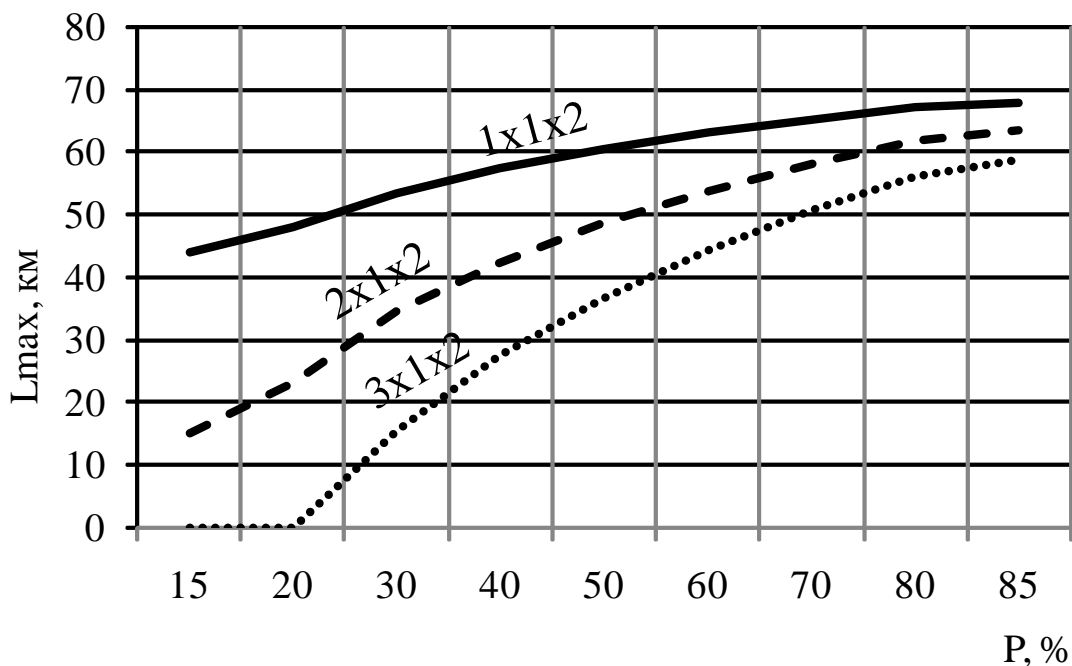


Рисунок 2 – Зависимость максимальной длины линии от мощности на выходных портах сплиттера 1x2

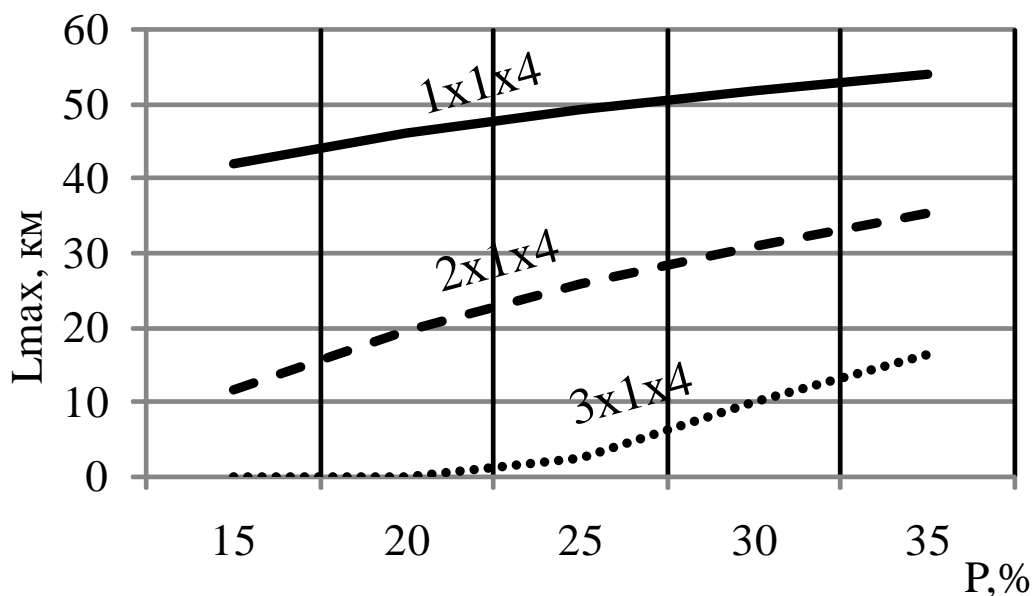


Рисунок 3 – Зависимость максимальной длины линии от мощности на выходных портах сплиттера 1×4

Согласно представленным графикам можно сделать следующие выводы. Если требуется подключить абонентов, которые сильно распределены и располагаются на значительном расстоянии друг от друга, то лучше будет действовать схема с меньшим числом ветвления и с равномерным распределением мощности по выходным портам *ONU*. Понижение стоимости линии связи достигается за счет использования меньшего числа оборудования.

Итак, на данный момент основной проблемой для поставщика мультисервисных услуг остается подключение абонентов к сети. Провайдер может организовать такое подключение разными способами. Анализ выявил, что для обеспечения требуемых абонентами скоростей необходимо переходить на оптические линии связи. Наиболее дешевым способом организации здесь является пассивная оптическая сеть. К трудностям организации передачи данных по таким сетям можно отнести распределения мощности по выходным портам оптического терминала таким образом, чтобы увеличить дальность связи. Проведенный в работе анализ показал, что начиная с 3х ступенчатой схемы подключения сплиттеров существует определенный предел минимальной мощности для каждого выходного порта *ONU*. Для сплиттеров 1×2 данный предел составляет 10% на порт, а для схемы 1×4 – 15%. При этом, количество подключаемых абонентов в первом случае составит 4, а втором – 64.

Перечень ссылок

1. Барабаш П.А., Воробьев С.П., Махровский О.В., Шибанов В.С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. 2-е издание. – СПб.: Наука, 2004.
2. Котиков И.М. Классификация и сравнительный анализ технологий проводного доступа // Технологии и средства связи. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа», 2004.
3. Долотов Д. В. Оптические технологии в сетях доступа // Технологии и средства связи. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа», 2004.
4. Saunders S.R. Antennas and propagation for wireless communication systems. England: John Wiley & Sons Ltd, 2007
5. Меккель А.М. Семейство технологий PON и проблемы резервирования / А.М. Меккель // «Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт». – М: «Роспечать», 2014. – С. 69-74.

ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ КОРПОРАТИВНАЯ СЕТЬ ООО «МЕТСТРОЙОБЕСПЕЧЕНИЕ» Г. ДОНЕЦК

Багнюк А.В., студентка; Червинский В.В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Объектом, для которого модернизируется инфокоммуникационная сеть, является ООО «Метстройобеспечение», расположенное по адресу: город Донецк, ул. Левобережная 6А [1]. Промышленное предприятие представляет собой инженерно-экономический объект, находится в промышленной части города и занимается изготовлением металлоконструкций, используемых в строительстве и реконструкции промышленных и непромышленных зданий. Площадь предприятия достигает 2 км². Расположение строений предприятия ООО «Метстройобеспечение» представлено на генеральном плане, приведенном на рис. 1.

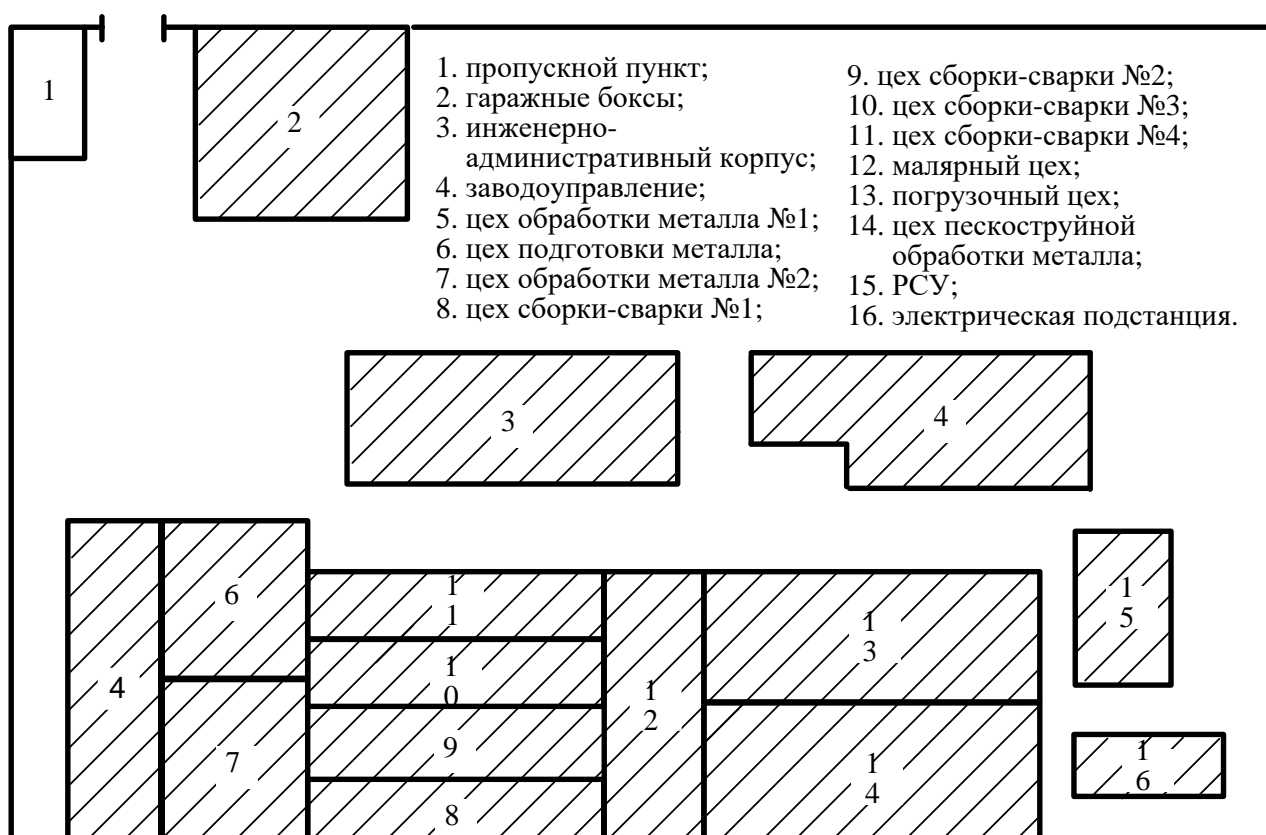


Рисунок 1 - Генеральный план ООО «Метстройобеспечение»

Предприятие состоит из инженерно-административного корпуса, помещения заводоуправления, семи производственных цехов, пропускного пункта гаражного бокса, ремонтно-строительного отделения и электрической подстанции, расположенных на единой территории.

Инженерно-административный корпус – это четырехэтажное здание, которое содержит наибольшее количество абонентов предприятия.

Помещение заводоуправления - это трехэтажное здание. Производственные цеха - одноэтажные здания, имеющие специфическую особенность - небольшая концентрация абонентов, разбросанных на большой площади.

На данный момент предприятие имеет локально-вычислительную сеть только в инженерно-административном корпусе. На предприятии также имеется морально устаревшая учрежденческая АТС с трехзначной нумерацией. Поэтому является актуальной

задача разработки инфокоммуникационной сети для ООО «Метстройобеспечение», которая объединит все здания и промышленные цеха и предоставит сотрудникам комплекс современных инфокоммуникационных услуг.

Каждый из корпусов будет иметь собственную локальную сеть, все корпуса и производственные цеха будут соединяться между собой магистральной сетью. В инженерно-административном корпусе будет располагаться центральный коммутационный узел, включающий серверное оборудование и оборудование связи с внешними сетями – Интернет и ТфОП.

Работникам инженерно-административного корпуса будут доступны следующие услуги: IP-телефония, передача данных, электронный документооборот, доступ в Интернет, видеотелефония, виртуальные частные сети VPN для передачи данных к предприятиям-партнерам через общедоступную сеть Интернет. С точки зрения магистральной сети в инженерно-административном корпусе будет организован узел №1.

Работникам корпуса заводоуправления будут доступны следующие услуги: IP-телефония, передача данных, электронный документооборот, Интернет и видеотелефония [2]. С точки зрения магистральной сети в этом корпусе будет организован узел №2.

Работникам производственных цехов будут доступны такие виды услуг: телефония, передача данных, электронный документооборот. В одном из цехов будет организован магистральный узел №3. Также к узлу №3 будет подключена система сбора информации о технологическом процессе.

Количество компьютеров и телефонов, закрепленных за коммутационными узлами, приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Количество компьютеров и телефонов, закрепленных за коммутационными узлами

Узел	Этаж / цех	Компьютеры, шт	Телефоны, шт.
№1 инженерно-административный корпус	1	16	19
	2	12	11
	3	32	17
	4	16	10
№2 заводоуправление	1	6	10
	2	7	9
	3	8	8
№3 цеха	цеха	6	14

Общее количество пользователей сети разбито на группы в соответствии с категориями. Категория определяет набор услуг, которыми может пользоваться пользователь соответствующей категории.

Взаимосвязь отделов сотрудников, инфокоммуникационных категорий и видов услуг отражены на схеме информационной модели сети, приведенной на рис. 2.

Структурная схема корпоративной сети ООО «Метстройобеспечение» приведена на рис. 3.

Магистральная сеть включает 3 узла, объединенные по топологии «кольцо». С целью повышения отказоустойчивости сети магистральное кольцо продублировано с использованием технологии Dual Homing [3]. Узел №1 обслуживает инженерно-административный корпус, узел №2 – заводоуправление, №3 – промышленные цеха.

На магистральном уровне используется технология оптоволоконный Gigabit Ethernet, на уровне доступа - Fast Ethernet на витой паре пятой категории. Также технология Fast Ethernet с использованием оптоволоконного кабеля и спецификации 100Base-FX, будет применена для подключения к Интернет через сеть ISP провайдера. В качестве технологии подключения к ТфОП выбрана технология ISDN PRI.

Основной и резервный коммутаторы первого узла магистральной сети подключены к маршрутизатору ядра. Маршрутизатор ядра расположен в центральном коммутационном узле. Также в этом узле находится внутренняя серверная ферма, включающая следующие сервера [4]:

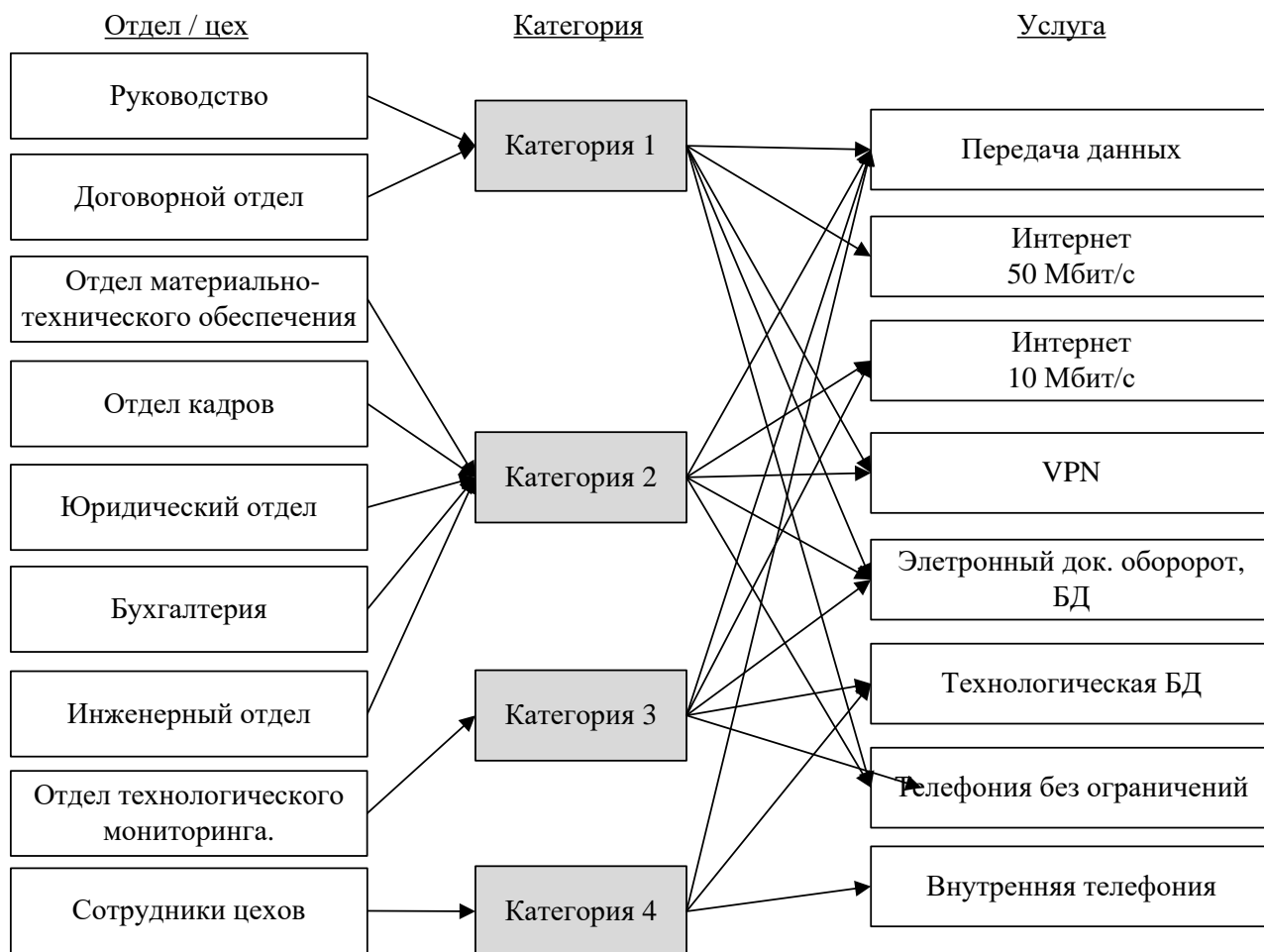


Рисунок 2 – Информационная модель корпоративной сети ООО «Метстройобеспечение»

- сервер базы данных (БД) предприятия,
- сервер технологической базы данных;
- сервер администрирование;
- сервер видеоконференций;
- сервер VoIP.

Выход в ТфОП осуществляется через шлюз, подключенный к серверу VoIP.

Для обеспечения информационной защиты сети принята схема с двумя межсетевыми экранами (Firewall), реализованными на маршрутизаторе ядра. Один защищает внутреннюю сеть, другой – демилитаризованную зону, в которой располагается внешняя серверная ферма, включающая следующие сервера:

- WEB - сервер;
- Mail - сервер;
- DNS – сервер.

Трафик данных рассчитан отдельно для каждого вида услуги на каждом сетевом узле. Формула для расчета имеет вид [5]:

$$\gamma_i^{(k)} = B_{cp}^{(k)} \cdot N_{aa_i}^{(k)} \cdot T_c^{(k)} \cdot f_{aa_i \zeta_i}^{(k)}, \quad (1)$$

где k – сетевая услуга;
 i – номер узла;

$\gamma_i^{(k)}$ – математическое ожидание трафика, генерируемого k -ой услугой на i -м узле;

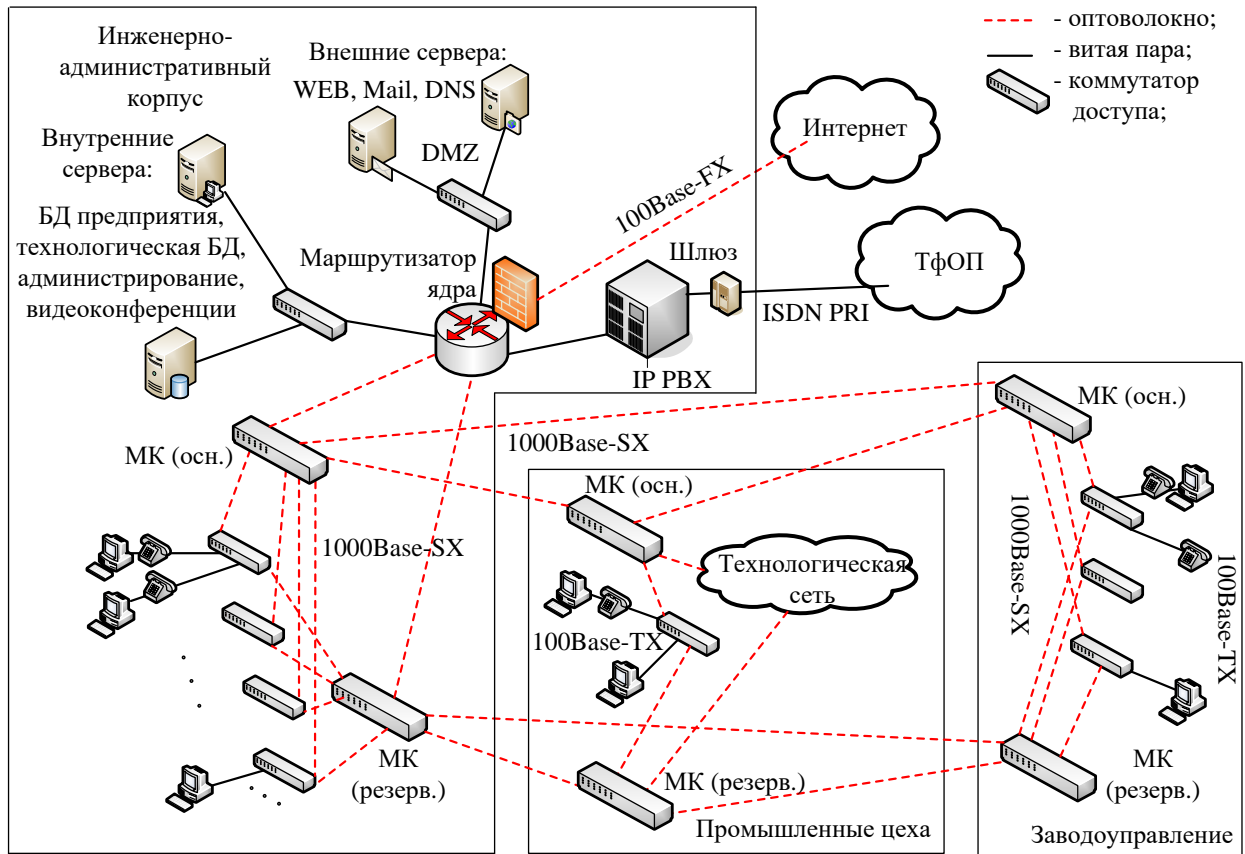


Рисунок 3 - Структурная схема корпоративной сети ООО «Метстройобеспечение»

$B_{cp}^{(k)}$ – скорость передачи данных (в битах или пакетах в секунду) - средняя пропускная способность канала связи, которого достаточно для качественной передачи трафика k -ой услуги;

$N_{\dot{a}\dot{a}_i}^{(k)}$ – количество абонентов на i -м узле, пользующихся k -й услугой;

$T_c^{(k)}$ – средняя длительность сеанса связи для k -ой услуги;

$f_{\dot{a}\dot{a}_i}^{(k)}$ – среднее количество вызовов в час наибольшей нагрузки для пользователей i -го узла, которые используют k -ю услугу.

Здесь скорость передачи данных $B_{cp}^{(k)}$ находится по формуле:

$$B_{cp}^{(k)} = \frac{B_{\max}^{(k)}}{P^{(k)}}, \quad (2)$$

где $B_{\max}^{(k)}$ – максимальная пропускная способность канала связи

$P^{(k)}$ – пачечность на одного абонента – отношение между максимальной и средней пропускной способностью, необходимой для обеспечения k -й услуги.

На предприятии существует технологической трафик, который образуется за счет сбора информации с датчиков различного типа.

На предприятии работает 320 датчиков различного типа. Отсчет проводится датчиком каждые 10 мс. За один отсчет в среднем каждый датчик передает два байта информации, следовательно, один датчик в течение одной секунды 1600 бит информации.

Для функционирования технологической сети нужен выделенный канал, пропускная способность которого определяется следующим образом:

$$320 * 1600 = 512\,000 \text{ бит/с или } 512 \text{ кбит/с.}$$

Будем считать это трафик по 10 услуге.

В таблице 2 приведены сведения о количестве абонентов, пользующихся определенной услугой на каждом из узлов.

Таблица 2 - Количество абонентов определенной услуги на каждом узле

Услуга Узел	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	57	10	76	76	-	30	46	10
2	2	14	2	21	21	10	3	18	3
3	14	-	-	6	6	6	-	2	-

В таблице 3 представлены результаты расчета трафика для узлов сети.

Таблица 3 - Результирующие значения трафика для узлов сети

Узел	Трафик, Мбит/с
1	56,2
2	40,6
3	9,1

Трафик на внешний канал Интернет складывается из трафика по услугам 7, 8, 9 и составляет:

$$\gamma_{\text{Internet}} = \sum_{k=7}^9 \sum_{i=1}^3 \gamma_i^{(k)} = 13,4 \text{ Мбит/с.}$$

Телефонная связь делится на внешнюю – в ТфОП и на внутреннюю – между абонентами – сотрудниками предприятия. Пример соответствующее разделение телефонного трафика 30/ 70.

Трафик на внешний канал в ТфОП определяется по формуле:

$$\gamma_{\text{доп}} = 0,3 \cdot N_{\text{дд}}^{(2)} \cdot \frac{T_c^{(2)} \cdot f_{\text{аиц}}^{(2)}}{3600} = 0,3 \cdot 71 \cdot \frac{120 \cdot 5}{3600} = 3,55 \text{ Эрл.}$$

По таблице Кендалла-Башарина для нормы потерь 0,1 определяем требуемое количество каналов:

$$v_{\text{тфоп}} = 11$$

Таким образом, в статье представлен эскизный проект модернизации корпоративной инфокоммуникационной сети для условий ООО «Метстройобеспечение». Дальнейшие исследования предполагают выбор коммуникационного и линейного оборудования, составление схем кабельной сети, моделирование сети и настройку коммуникационного оборудования.

Перечень ссылок

1. ООО «Метстройобеспечение». [Электронный ресурс]. URL <http://mso.dn.ua/> (дата обращения: 14.02.2019).
2. Величко, В.В. Основы инфокоммуникационных технологий : учебное пособие для вузов / В. В. Величко, Г. П. Катунин, В. П. Шувалов; под ред. В.П. Шувалова. - М. : Горячая линия-Телеком, 2009. - 712с.
3. Гольдштейн, Б. С., Сети связи. Учебник для ВУЗов / Б. С.Гольдштейн, Н. А/ Соколов., Г. Г.Яновский - СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2014. – 400 с.
4. Суворов, А. Б.Телекоммуникационные системы, компьютерные сети и Интернет: учеб. пособие для студ., магистрантов и аспирантов / А. Б. Суворов. - Ростов н/Д : Феникс, 2007. - 383
5. Назаров А.Н.. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров сетей АТМ.-М.:Наука,2002.-315с

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ QoS В БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Брехов Д.И., студ.; Молоковский И.А., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

За последнее время стремительно выросло количество пользователей беспроводных инфокоммуникационных сетей. Применение таких технологий, как UMTS и LTE становится обязательным в сфере телекоммуникаций. Также стремительно растет и количество локальных беспроводных сетей. Они становятся все более популярными, так как все больше и больше офисных зданий, ресторанов, торговых центров, аэропортов, станций метро и т.д. оборудуется точками доступа для выхода в Интернет. С увеличением популярности беспроводных сетей растут и требования к показателям качества обслуживания QoS. Основным стандартом беспроводных локальных сетей является стандарт IEEE 802.11.

Мобильное устройство (МУ) – телефон, планшет, ноутбук и т.п. может находиться в определенный момент времени в зоне покрытия нескольких Wi-Fi точек доступа AP (Access Point). Также по причине мобильности МУ может менять зоны покрытия разных точек доступа Wi-Fi сети. Таким образом, в любой момент времени есть необходимость в правильном решении о том, какую AP использовать для каждого МУ. [1]

Целью работы является улучшение качества обслуживания беспроводной локальной сети IEEE 802.11 за счет применения алгоритма оптимизации работы WLAN.

Основные задачи исследования:

1. Анализ существующих алгоритмов оптимизации;
2. Разработка математической модели сети;
3. Построение алгоритма, при котором повышается качество обслуживания абонентов сети.

Объект исследования: беспроводная инфокоммуникационная сеть.

Предмет исследования: метод автоматического переключения абонента с одной точки доступа на другую при заданных условиях.

Описание алгоритма оптимизации локальной беспроводной сети. Допустим $A = \{a_1, \dots, a_N\}$ – это AP (Access Point – точка доступа) WLAN (Wireless Local Area Network). В данной статье рассматривается только случай, когда $a_i \in A (1 \leq i \leq N)$ как список возможных кандидатов на подключение.

Управляющее устройство должно хранить список из A , как список возможных кандидатов для подключения, а также хранить информацию о загруженности каждого из них.

$U = \{u_1, \dots, u_K\}$ – это МУ (мобильные устройства). Каждое МУ требует переключения или же уже обслуживается AP, без необходимости в переключении. Таким образом, U можно разделить на две подсети в определенный момент времени t :

– 1 подсеть:

$$U_t = \{u_{1(t)}, u_{2(t)}, \dots, u_{m(t)}\},$$

где $m(t)$ – количество МУ, требующих переключения в момент времени t .

– 2 подсеть:

$$V_t = U - U_t,$$

где V_t – МУ с хорошим подключением к AP (т. е. не требуют переключения).

Каждая AP a_i способна обеспечить определенную максимальную пропускную способность Z_i . Обозначим $w(i)$ как вес или стоимость пропускной способности AP.

Для простоты можно использовать только одну стоимость каналов, для каждой AP – w_a .

AP могут собирать информацию с каждого МУ. Информацию о его средней пропускной способности в данный момент времени обслуживания. Данная информация будет отсутствовать, если МУ только что подключили к AP или вообще нет подключения. Необходимо на каждом МУ использовать приложение, которое может с заданной периодичностью собирать информацию и передавать ее в управляющее устройство. Тогда будет информация о реальной пропускной способности e_{ij} для каждой AP.

Таким образом, суммарная реальная нагрузка p_i для a_i (AP):

$$p_i = \sum_{U_i \in V_t} e_{ij}.$$

Введем двоичную переменную x_{ij} , которая принимает значение единицы ($x_{ij} = 1$), когда u_i подключен к AP, и ноль ($x_{ij} = 0$), если не подключен.

Таким образом, $X = \{x_{ij}\}$ – матрица зоны покрытия будет выглядеть так:

$$x_{ij} \in \{0,1\},$$

$$x_{ij} = 0, \text{ если } RSS_{ij} < \begin{cases} S_a, \text{ для AP} \\ S_{ai}, \text{ для AP}_i \end{cases},$$

где S_a и S_{ai} – пороговое значение RSS, достигнув которого МУ может установить соединение с AP и AP_i соответственно.

Суммарная необходимая пропускная способность $v_i(X)$ для a_i (AP) для подключения дополнительных МУ $u_i \in U_i$:

$$v_i(X) = \sum_{U_i \in V_t} e_{ij} x_{ij}.$$

Коэффициент загруженности $F(i)$ a_i (AP):

$$F(i) = w(i) \frac{p_i + v_i(X)}{z_i}.$$

Существует ряд стандартных алгоритмов балансировки нагрузки. В Проводных сетях уже давно используется функция балансировки нагрузки (Load Balancing), которая реализована во множестве аппаратных шлюзов. Данная технология позволяет обеспечить лучшее распределение нагрузки при использовании двух и более WAN-портов.

В проводных вычислительных сетях существует три наиболее распространенных алгоритма [2]:

- Spillover (Алгоритм переполнения);
- Weighted Round Robin (Взвешенный циклический алгоритм);
- Least Load First (Алгоритм менее загруженной очереди).

При использовании функции балансировки нагрузки (Load Balancing) каждый раз, когда возникает новая исходящая TCP-сессия, с интерфейса LAN аппаратный шлюз выбирает WAN-интерфейс для отправки пакетов. В дальнейшем пакеты данной сессии будут использовать ранее определенный WAN-интерфейс. TCP-сессия открывается и закрывается на одном и том же WAN-интерфейсе.

Теперь рассмотрим возможность использования алгоритмов балансировки нагрузки в беспроводных сетях. В качестве WAN-интерфейсов у нас будут точки доступа (AP), а в качестве TCP-сессий – мобильные устройства (МУ), которые к ним подключены. Далее для

простоты будем использовать только AP, тем самым w_i – стоимость пропускной способности AP, можно опустить. В качестве примера будем использовать две AP.

Алгоритм переполнения (Spillover). В данном алгоритме предельное значение нагрузки определяется для основной AP. Когда нагрузка достигнет этого предельного значения, тогда при новом подключении начнет использоваться резервная AP (см. рис. 1). Новые подключения снова начнут создаваться на основной AP, как только снизится ее загрузка.

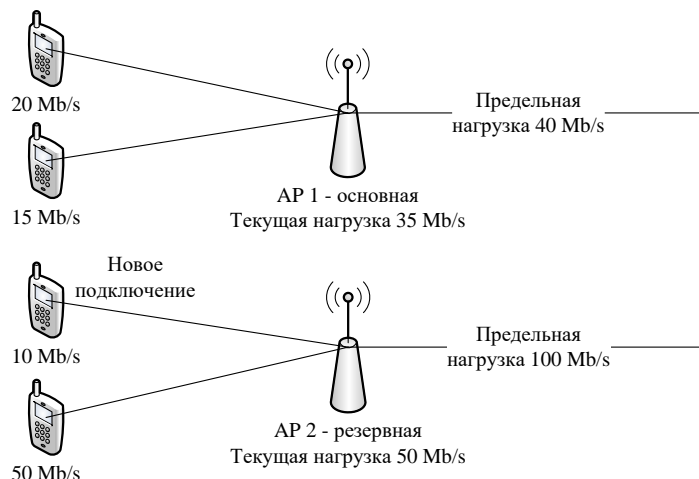


Рисунок 1 - Алгоритм переполнения (Spillover)

Новые подключения к основной AP будут создаваться при выполнении неравенства:

$$p_i + v_i(X) < Z_i,$$

где i – номер AP (основной точки доступа для данной зоны).

В противном случае новое подключение будет устанавливаться на резервной AP.

Циклический взвешенный алгоритм (Weighted Round Robin). В данном алгоритме определяется коэффициент загрузки для двух AP. При этом реальное распределение нагрузки не анализируется. В данном случае соотношение определяется для количества подключенных МУ. Например, на рис. 2а можно увидеть, что $AP1:AP2 = 3:1$. Это означает, что количество подключенных МУ к AP1 и AP2 будет кратно 3:1.

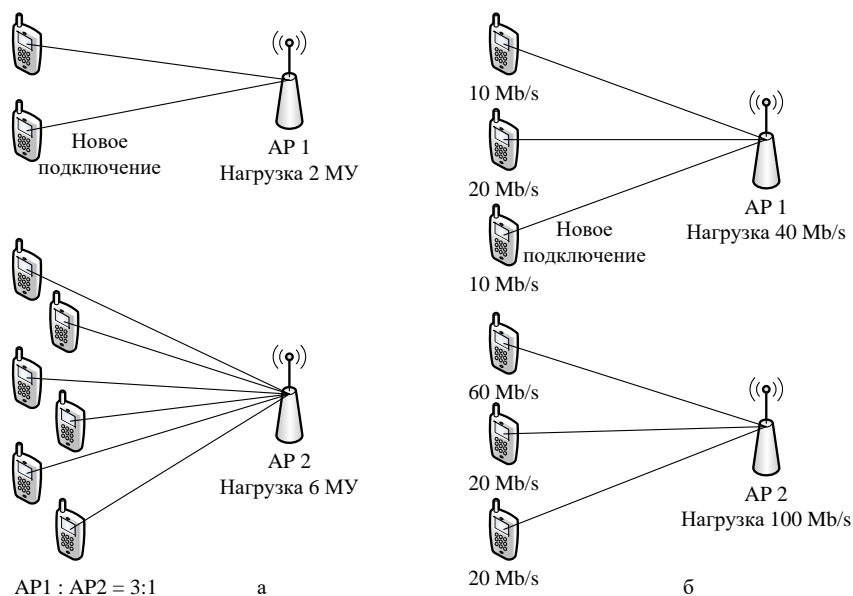


Рисунок 2 - Циклический взвешенный алгоритм (Weighted Round Robin)

Однако если при анализе загруженности анализировать не только количество подключений (шт.), но и загруженность AP (Mb/s), как это показано на рис. 4б, то реальная загруженность будет соответствовать заданным параметрам, а коэффициент загрузки будет следующим:

$$F(i) = \frac{p_i + v_i(X)}{z_i}.$$

Правило менее загруженной очереди (Least Load First). В данном алгоритме определяется утилизация канала связи каждой AP в соответствии с предельной нагрузкой (пропускной способностью). Это значит, что новое подключение будет создаваться с менее загруженной AP (см. рис. 3). На рисунке показано, что предельная нагрузка (пропускная способность) на AP1 – 50 Mb/s, а на AP2 – 150 Mb/s. Текущая нагрузка AP1 = 20 + 10 = 30 Mb/s, а AP2 – 60 Mb/s. Соответственно, коэффициент загрузки AP1 – 75 %, а AP2 – 60 %. AP2 имеет меньший коэффициент загрузки, поэтому новое подключение будет создаваться с ней.

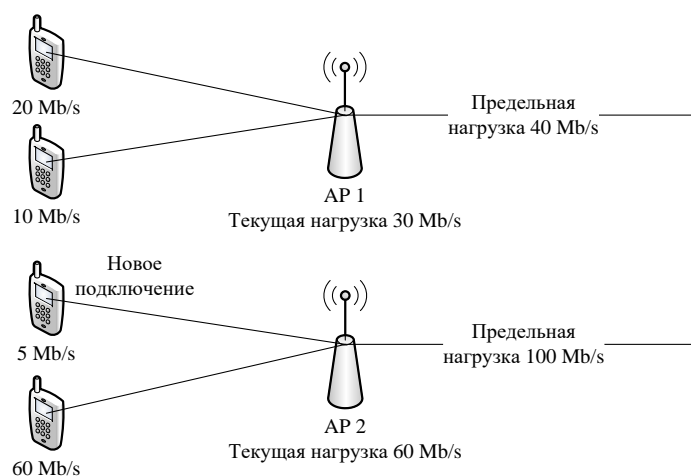


Рисунок 3 - Правило менее загруженной очереди (Least Load First)

Для расчета коэффициента загрузки AP(*i*) будем использовать следующую формулу:

$$F(i) = \frac{p_i}{z_i},$$

где p_i – суммарная реальная нагрузка, а z_i – максимальная пропускная способность.

Алгоритм оптимизации работы WLAN. Разработанный алгоритм учитывает, как и загрузку AP, так и ее уровень сигнала (см. рис. 4). Основные параметры, которые необходимо учитывать при подключении/переключении абонента на другую AP:

- количество AP;
- загруженность AP;
- уровень сигнала AP.

Количество точек доступа (AP) в статье не указывается, так как данная работа не несет проектной части. Соответственно загруженность всей сети не учитываем. Но загруженность одной AP составляет до 50 абонентов. Для упрощения алгоритма принято, что каждый абонент потребляет примерно 5 Мбит/с трафика. Пороговое значение, при котором уровень сигнала может обеспечить качественное обслуживание, составляет – 60 dBm.

Уровень сигнала (dBm) и его процент (%) работоспособности:

- 1) -35 dBm и меньше – 100%
- 2) -65 dBm – 50%
- 3) -95 dBm – 1%

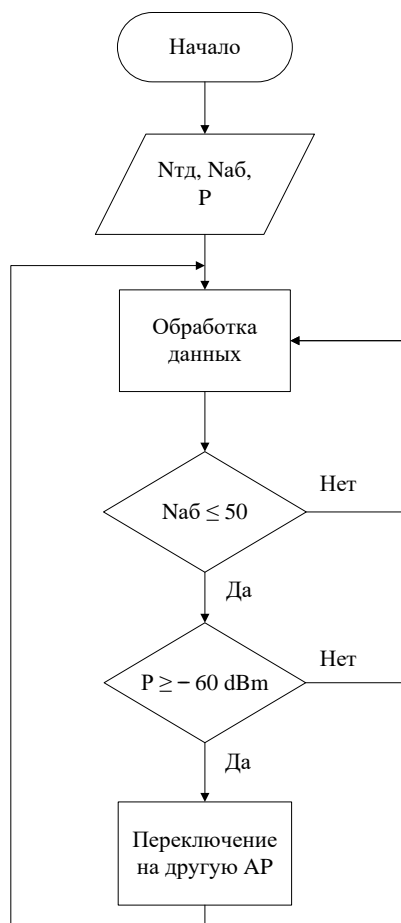


Рисунок 4 - Блок-схема принятия решения о переключении абонента

К Снижению качества обслуживания беспроводной корпоративной сети приводит неравномерная загруженность точек доступа. Следствием такой загруженности является существенное снижение времени передачи кадра для перегруженной точки доступа. Если мобильные абоненты будут подключаться к точке доступа только исходя из максимального уровня сигнала, то это может привести к тому, что те точки доступа с наилучшим сигналом могут оказаться перегруженными. Чтобы избежать перегрузки, необходимо учитывать коэффициент загруженности точки доступа в тот момент, когда мобильное устройство осуществляет к ней подключение. Учет коэффициента загрузки обеспечивает лучшую балансировку нагрузки в корпоративной беспроводной сети. Для нахождения наилучшей точки доступа для подключения мобильного абонента с учетом ее загрузки и уровня сигнала необходимо использовать алгоритм оптимизации работы WLAN.

Перечень ссылок

1. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. - 5-е изд. – Санкт-Петербург: Питер, 2012. – 960 с.
2. Weighted Round Robin; Spillover; Figure 45 Weighted Round Robin Algorithm Example; Table 37 Least Load First: Example 2 - ZyXEL Communications ZyWall 35 User Manual. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.manualslib.com/manual/871565/Zyxel-Communications-Zywall-35.html?page=131>
3. Institute of Electrical and Electronics Engineers «IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services», IEEE Std 802.21. – 2008.
4. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов / В. Олифер, Н. Олифер. - 5-е изд. – Санкт-Петербург: Питер, 2016. – 992 с.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Данилюк И.П., магистрант

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В настоящее время для эффективного управления и сокращения цикла принятия решений должностных лиц используются сложные информационные системы.

Для создания информационных систем необходимо строить сложные компьютерные сети (КС) как государственного уровня, так и уровня предприятий. При этом сегменты КС могут находиться в разных регионах страны на значительном удалении друг от друга. Создание отдельной телекоммуникационной сети для каждой КС не представляется возможным как по экономическим, так и по техническим причинам.

Можно говорить о том, что подавляющее большинство современных КС является интегрированными с сетью Интернет. Это приводит к серьезному повышению риска выхода элементов системы из строя в результате воздействия преднамеренных и непреднамеренных помех (ПНП). Вследствие отказа множества элементов системы может сложиться ситуация, что система разрушится и информационный обмен прекратится.

Основными направлениями обеспечения надежности передачи информации являются: резервирование путем наращивания дополнительных ресурсов в системе передачи данных, различные способы маршрутизации, сравнительный анализ оценки надежности структур на этапе проектирования.

При построении территориально распределенных компьютерных сетей неизбежно использование ресурсов сети Интернет (ССОП). Получаемая интегрированная компьютерная сеть включает в себя значительное число элементов, не принадлежащих и не подконтрольных владельцу сети. Более того, как правило, ресурсы будут принадлежать нескольким различным операторам связи. Наличие неконтролируемых элементов существенно затрудняет оценку надежности интегрированной компьютерной сети (ИКС). Это обусловлено следующими факторами:

- провайдеры связи не предоставляют информацию об используемом оборудовании и программном обеспечении;
- характеристики программного и аппаратного обеспечения могут изменяться достаточно часто;
- сложно прогнозируемые условия работы оборудования;
- изменение структуры сети путем добавления/удаления элементов без уведомления владельца ИКС;
- в штатных режимах работы используется высоконадежное оборудование, что затрудняет сбор и анализ информации.

В сети Интернет действуют преднамеренные и непреднамеренные логические помехи. Под помехой понимается трафик, обработка которого может привести к отказу узла ИКС. Непреднамеренная помеха — помеха, не подконтрольная владельцу ИКС. Преднамеренная помеха — помеха, появляющаяся в результате запланированных действий владельца ИКС. Повышение нагрузки на элементы провайдеров в результате предоставления новых услуг (например, HDTV) или обслуживания трафика распределенной атаки типа «отказ в обслуживании» может существенно изменить параметры работы ИКС и стать причиной выхода узлов из строя. Определенное количество выведенных из строя узлов может привести к потере связи между пограничными узлами локальных (подконтрольных владельцу ИКС) узлов, и тем самым разрушить ИКС.

Для оценки надежности ИКС разработан метод оценки надежности, в котором передача информации рассматривается как просачивание пакетов с данными из одного сегмента ИКС в другой через инфраструктуру провайдеров (сеть Интернет). В 1957 г. в статье [1]

предложили моделировать протекание вещества в пористом материале с помощью метода Монте-Карло. Дальнейшие исследования в этой области показали, что использование данного подхода применимо в различных областях науки, таких, как физика проводников, ядерная физика, химия, геология, социология, экономика, маркетинг, медицина.

В ИКС под перколяционным кластером понимается кластер, состоящий из работоспособных, связанных линиям связи элементов, который включает в себя хотя бы по одному граничному узлу из каждой территориально обособленной ЛВС ИКС. Граничные узлы $K = \{k_i\}$ это элементы ЛВС ИКС, с помощью которых ЛВС ИКС интегрируются с сетью Интернет. Вся совокупность узлов на одной ЛВС образует границы, из которых определяется множество границ B :

$$B = \{b_j\}, b_j \in k_i, |b_j| > 0, |B| \geq 2 \quad (1)$$

где b — граница, k — ключевой узел. Один ключевой узел принадлежит строго одной границе $\cap_j b_j = \emptyset$. При этом кластер C считается перколяционным в том и только в том случае, если он содержит хотя бы по одному узлу из каждой границы:

$$C \cap b_j \neq \emptyset \quad (2)$$

В дальнейшем K будет именоваться как множество граничных или множество ключевых узлов ИКС.

Вероятность сохранения связи p_{cc} между территориально распределенными сегментами ИКС в условиях воздействия преднамеренной или непреднамеренной помехи за определенный интервал времени, в течение которого вышедшие из строя узлы не могут быть отремонтированы, определяется как вероятность того, сохранится ли связь между множествами граничных узлов ИКС, через которые осуществляется интеграция с ЕЭС.

Обобщенный алгоритм моделирования и получения метрик представлен на рис.1.

Задают исходные данные (бл. 1 рис.1). Структура ИКС представляется в виде графа, узлами e которого являются элементы сети, а ребрами l - связи между ними. Узлы локальных сегментов, с помощью которых осуществляется интеграция с сетью Интернет, определяют множество множеств B в соответствии с формулой (1). Задается вероятность устойчивости p_u узлов к воздействию помехи, общая для всех узлов сети. Определяется количество экспериментов $N_{экс}$, которое может быть вычислено по формуле:

$$N_{экс} \approx z^2 / (p_{уст} \delta^2), \quad (3)$$

где δ — относительная погрешность, z — корень уравнения, где β — требуемая достоверность.

$$\sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^z \exp -\frac{x^2}{2} dx = \beta \quad (4)$$

Уменьшают значение $N_{экс}$ на 1 (бл. 2 рис.1). Каждому узлу сети независимо от других устанавливается $p_{воз}$, которое определяется по равно-мерному закону распределения (бл. 3 рис.1). Узлы, у которых $p_{уст} > p_{воз}$, запоминают во множестве работоспособных узлов θ , способных передавать трафик. С помощью системы непересекающихся множеств получают множество кластеров, состоящих из связанных между собой работоспособных узлов. Тривиальная реализация может быть следующей. Выбирают первый узел из множества θ (бл. 6 рис.1). Строят множество состоящее из этого узла. Узел удаляют из θ (бл. 9 рис.1). Для каждого добавленного в θ узла рекурсивно вызывается данная процедура до тех пор, пока есть связанные с очередным узлом узлы (бл. 7 рис.1). После повторения θ_1 переходят к построению θ_i до тех пор, пока θ не станет пустым (бл. 5 рис.1). При построении θ_i для каждого узла проверяется, принадлежит он какой-либо границе, и если да, сохраняют идентификатор границы. Сохраняют все полученные кластеры θ во множестве кластеров ψ (бл.10 рис.1).

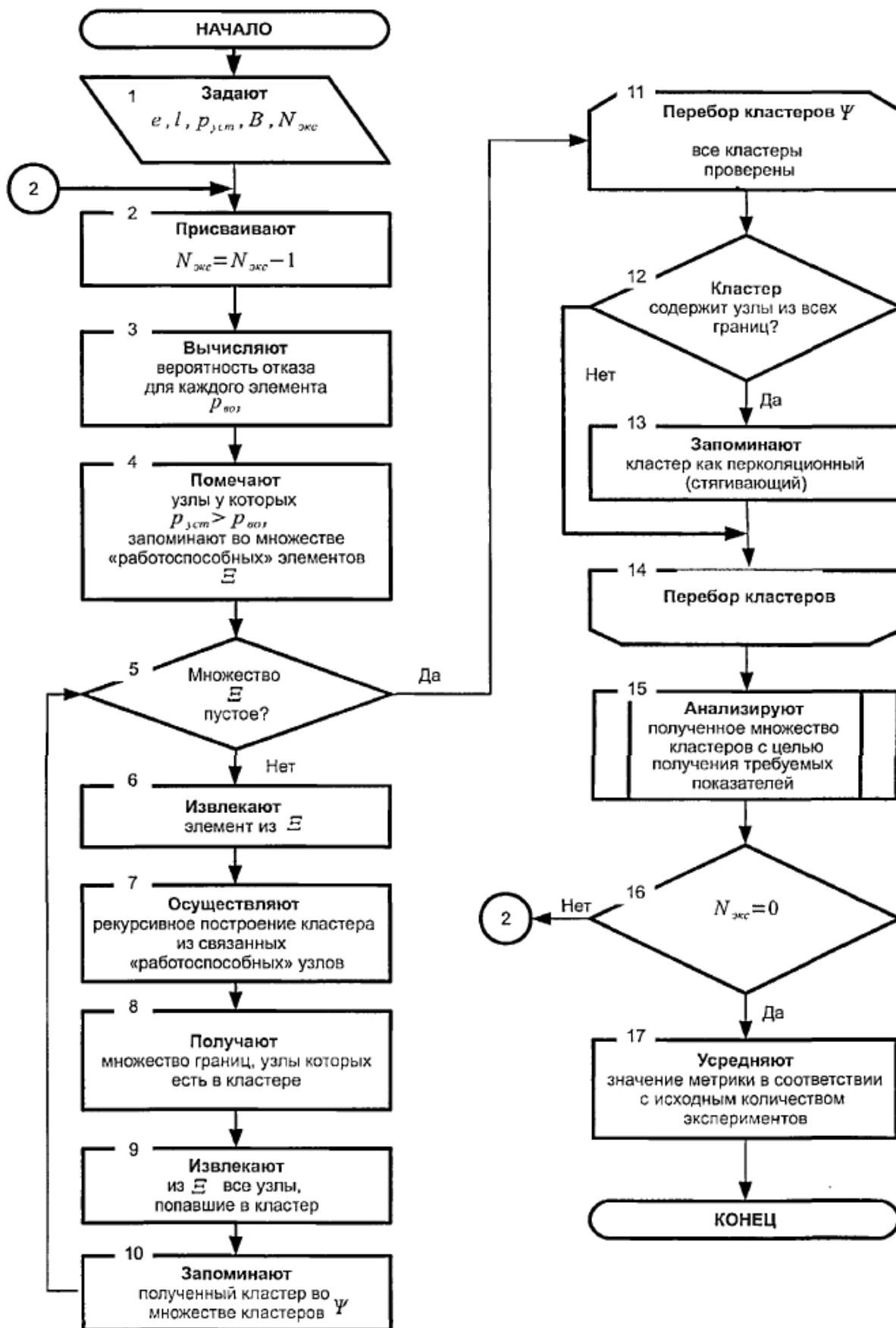


Рисунок 1 – Блок-схема обобщенного алгоритма, определяющая последовательность действия для реализации расчета метрик метода

Перебирают все кластеры из множества ψ (бл. 11-14 рис.1) и проверяют, содержит ли кластер узлы из всех границ (бл. 12 рис.1). Если кластер содержит хотя бы по одному узлу из каждой границы, его сохраняют во множестве перколяционных кластеров Π . Данный критерий отбора перколяционных кластеров соответствует данному выше определению(1.2). Далее множество Π анализируется и получают нужные метрики (бл. 15 рис.1): оценки размера работоспособного кластера, вероятность сохранения связи между границами локальных сегментов, вероятность связи между случайно выбранным узлом ИКС и границами локальных сегментов.

Уменьшают $N_{экс}$ на 1. Если $N_{экс} > 0$, переходят на шаг 2 (бл. 16 рис.1). Иначе ($N_{экс} = 0$) усредняют полученные на каждом шаге метрики и заканчивают выполнение алгоритма (бл. 17 рис.1).

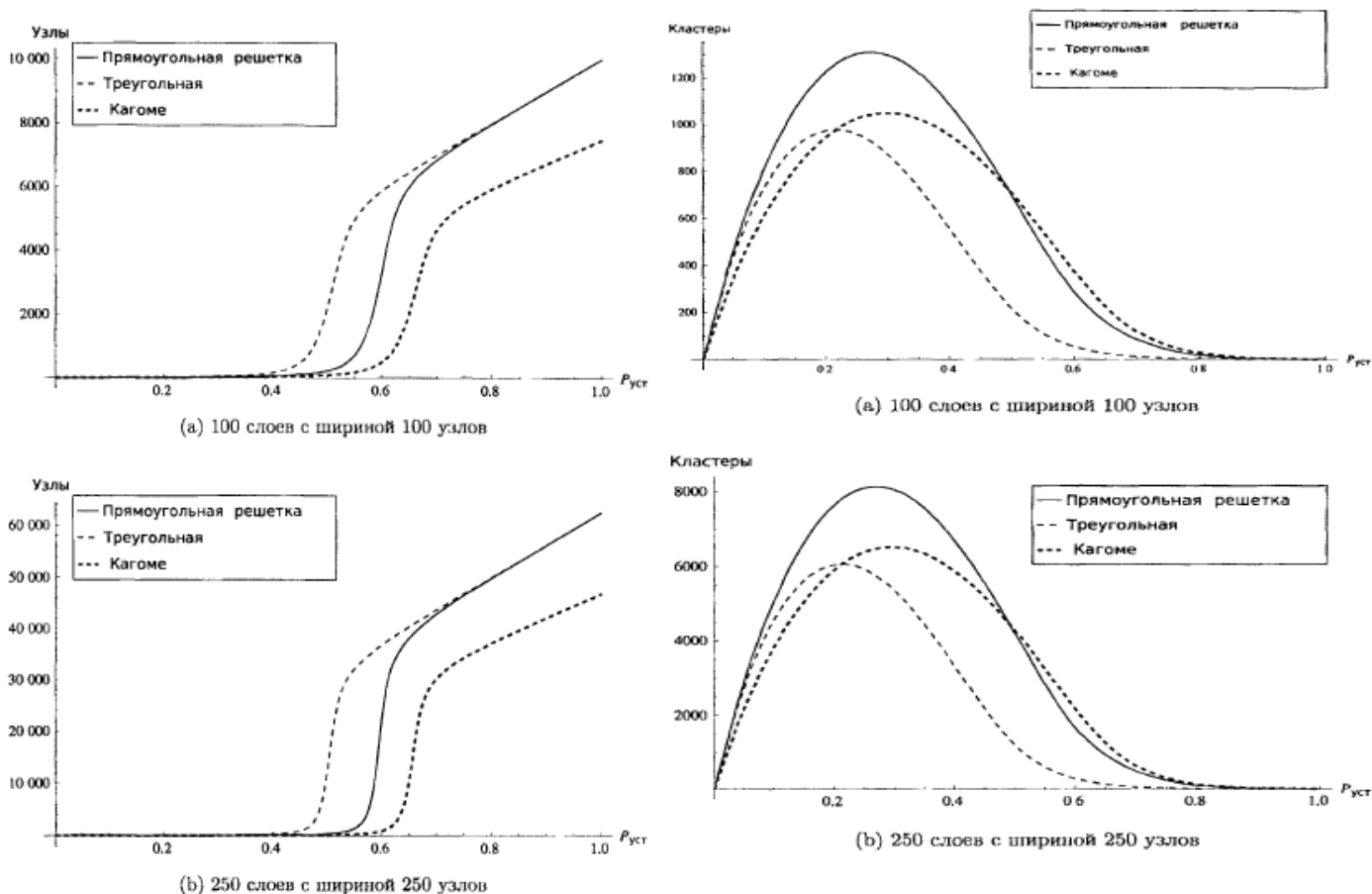
После воздействия ПНП система разрушается. Оставшиеся работающие узлы образуют новые кластеры, в которых сохраняется способность передачи информации между элементами ИКС. Передача информации между несвязанными кластерами невозможна.

Представляет интерес максимальный размер работоспособного кластера ИКС $S_{макс}$, средней размер кластеров $S_{сред}$ и количество образовавшихся кластеров $C_{кол}$. Алгоритм расчета оценок для произвольной структуры ИКС:

1. Формируется граф, узлами которого являются ИКС, а ребрами — связи между его элементами.
2. Задается количество экспериментов $N_{экс}$.
3. Задается вероятность устойчивости узлов к воздействию p_y .
4. Для каждого узла, независимо от других, случайным образом определяют степень воздействия p_v . В случае, если $p_v > p_y$ узел считается вышедшим из строя.
5. Осуществляется поиск кластеров с помощью системы непересекающихся множеств (СНМ).
6. Количество кластеров добавляется к счетчику $C_{кол}$.
7. Множество кластеров сортируется по размеру. Определяется размер максимального кластера и добавляется к счетчику $S_{макс}$.
8. Рассчитывается средний размер кластеров и добавляется к счетчику $S_{сред}$.
9. Сбрасывается состояние поврежден/работает узлов графа.
10. Шаги с 4 по 9 повторяются $N_{экс}$ раз.
11. Рассчитывается $S_{макс}$ как $S_{макс} / N_{экс}$.
12. Рассчитывается $S_{сред}$ как $S_{сред} / N_{экс}$.
13. Рассчитывается $C_{кол}$ как $C_{кол} / N_{экс}$.

Результат работы алгоритма для регулярных решеток различного размера приведен на рис. 2 и 3.

Из графиков видно, что при малых значениях p_y образуется большое количество кластеров малого размера и система является полностью разрушенной. В районе критического значения p размер максимального кластера начинает резко увеличиваться. При этом, несмотря на рост максимального кластера, среднее количество узлов в кластере не увеличивается. Происходит слияние крупных кластеров в один большой, при этом мелкие кластеры (состоящие из одиночных узлов) не входят в него. При дальнейшем росте p_y количество образовавшихся кластеров стремится к 1, а средний размер кластера начинает резко увеличиваться. При $p_y \rightarrow 1$ количество образовавшихся кластеров стремится к $C_{кол} \rightarrow 1$ средние и максимальные размеры кластера также стремятся к размеру структуры.



(а) 100 слоев с шириной 100 узлов

(а) 100 слоев с шириной 100 узлов

(б) 250 слоев с шириной 250 узлов

(б) 250 слоев с шириной 250 узлов

Рисунок 2 – Зависимость размера максимального кластера от вероятности устойчивости узлов ИКС

Рисунок 3 – Зависимость среднего количества образовавшихся кластеров от вероятности устойчивости узлов ИКС

В статье сформулирован метод оценки надежности интегрированных компьютерных сетей, теоретическую основу которого составляет теория перколяции. Использование перколяции позволяет учитывать входящие в состав ИКС узлы, не управляемые владельцами ИКС и функционирующие в условиях воздействия ПНП. Теория перколяции адаптирована к использованию в ИКС путем определения границ — узлов территориально распределенных локальных сегментов ИКС, с помощью которых осуществляется подключение к ССОП, что позволяет применять ее на произвольных решетках.

Предложены количественные оценки надежности ИКС. В результате воздействия ПНП часть узлов ИКС переходит в нерабочее состояние, в котором невозможна передача транзитного трафика. Устоявшие перед воздействием связанные между собой узлы образуют кластеры, в которых возможна передача информационных сообщений. Предложены следующие оценки таких кластеров: размер максимального кластера, средний размер образовавшихся кластеров, количество образовавшихся кластеров.

Перечень ссылок

1. Статья «Percolation processes I. Crystals and mazes» (Процесс протекания. Кристаллы и лабиринты)
2. Мейкшан В.И., Столяров В.В. Оценка показателей качества функционирования мультисервисных сетей связи при фиксированной маршрутизации Инфокоммуникационные технологии, 4(4):44-47, 2006.
3. Акчуринов Э.А., Родионов С.В. Метод оценки качества услуг связи, предоставляемых провайдерами фиксированной связи. Инфокоммуникационные технологии, 8(1):79-82, 2010.
4. Алёшкин А.С. Динамическая модель обработки и перколяции стохастических данных в сетях с упорядоченной и случайной структурой. PhD thesis, Московский государственный университет приборостроения и информатики, Москва, 2008.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ПРОВАЙДЕРА ДЛЯ ПГТ КУТЕЙНИКОВО

Глазунова Д.Д., студ.; Дзюба А.В., ст. преп.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

На территории Донецкой Народной Республики существует большое количество Интернет-провайдеров, способных предоставить своим клиентам широкий спектр услуг. Однако в отдаленных районах республики и сравнительно небольших населенных пунктах, как, например, поселок Кутейниково, выбор провайдеров сети небольшой, как и перечень предлагаемых ими услуг. Качество обслуживания абонентов достаточно низкое, а сети зачастую работают с перебоями. Исходя из этого возникает необходимость в организации широкополосного доступа для такой категории абонентов.

Основной задачей модернизации мультисервисной сети является предоставление широкого спектра актуальных на данный момент инфокоммуникационных услуг, позволяющих повысить комфорт абонентов. Цель проекта заключается в улучшении качества услуг, предоставляемых жителям поселка городского типа Кутейниково Интернет-провайдером «MegaNET», за счет модернизации имеющейся сетевой инфраструктуры.

Анализ объекта проектирования.

Объектом проектирования выступает поселок городского типа Кутейниково, который расположен в Амвросиевском районе Донецкой области.

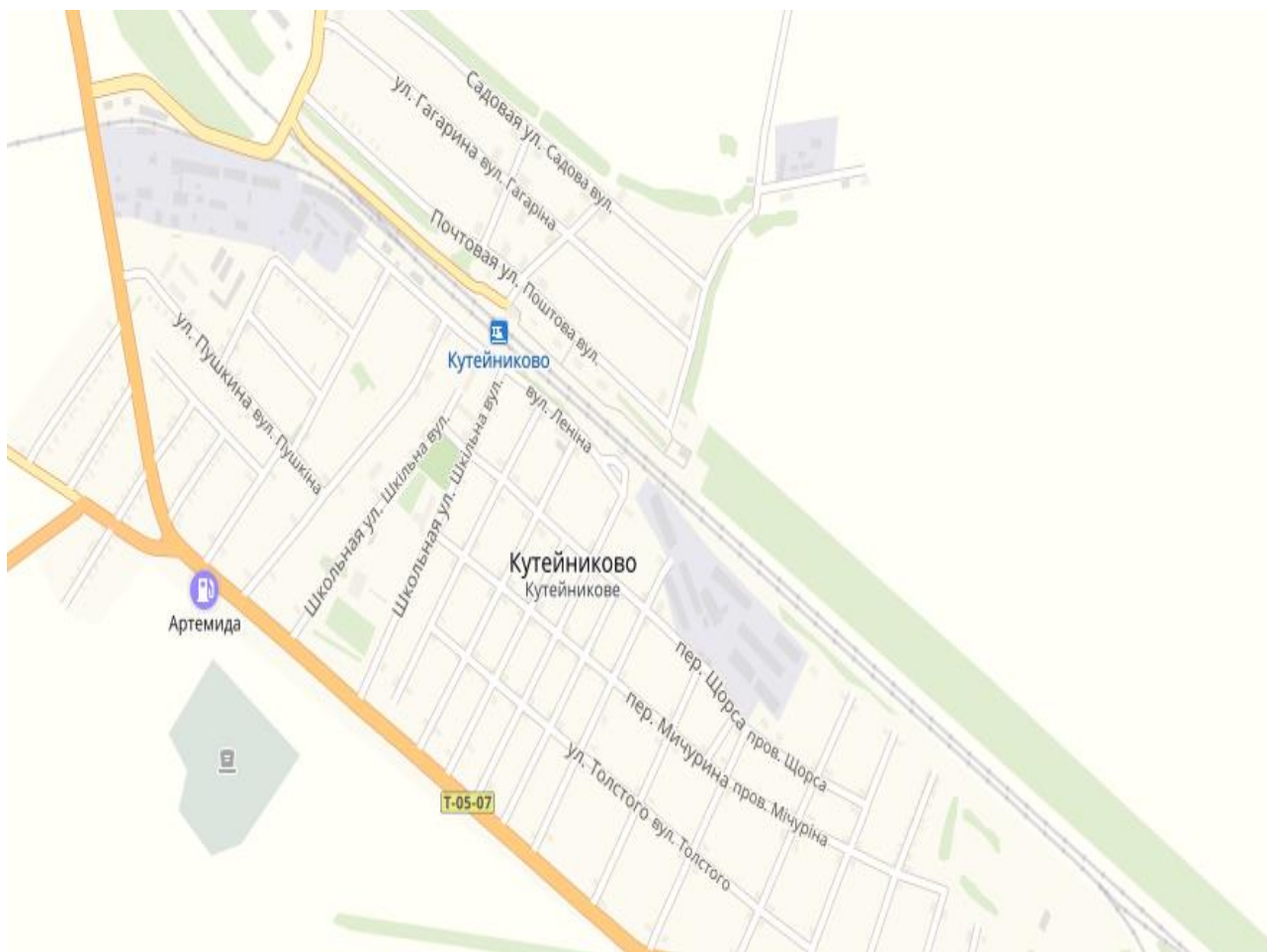


Рисунок 1 – Административная карта п.г.т. Кутейниково

Поселок основан в 1878 году, является центром поселкового Совета. На сегодня население Кутейниково насчитывает 1673 человека. В Кутейниково нет многоэтажных построек, а его жилой фонд составляют преимущественно одно- и двухэтажные дома. Схема поселка приведена на рисунке 1.

На территории поселка располагаются следующие организации, учреждения и предприятия: комбинат хлебопродуктов и автоколонна при КХП, комбикормовый завод ООО «Каскад-Агро», элеватор, амбулатория, железнодорожная станция, церковь Св. Николая, Дом культуры, детский сад «Барвинок», общеобразовательная школа, несколько магазинов и бар

Информационная модель сети

В Кутейниково действует один Интернет-провайдер – «MegaNET», который предоставляет несколько тарифов с максимальной скоростью до 100 Мбит/с.

ISP «MegaNET» предоставляет для населения и организаций Кутейниково следующие инфокоммуникационные услуги:

- высокоскоростной доступ к сети Internet на скоростях доступа от 10 Мбит/с до 100 Мбит/с;
- Телевидение (IPTV).

Подключение в выбранном населенном пункте организовано по медным и оптическим кабелям, в связи с чем в сети часто происходят сбои в работе. Существующая сеть для сжатия вещательного телевидения использует стандарт MPEG-2 — группа стандартов, применяемых для кодирования и сжатия видео- и аудиоданных. Чаще всего используется при организации трансляции мультимедийного потока по каналам цифрового телевидения. Существующие варианты набора услуг и соответствующие им тарифы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные тарифные планы провайдера «MegaNET»

Название пакета	Скорость доступа	Кол-во IPTV каналов	Тариф, руб./мес
Безлим-10	10 Мбит/с	-	240
Безлим-30	30 Мбит/с	50	280
Безлим-50	50 Мбит/с	100	320
Безлим-100	100 Мбит/с	150	360

После модернизации сети передача данных будет осуществляться по волоконно-оптическим линиям связи, что позволит повысить помехоустойчивость сети и увеличить расстояние передачи. Для организации трансляции мультимедийного потока по каналам цифрового телевидения будет использоваться технология MPEG-4 — усовершенствованная версия стандарта MPEG-2, дающая возможность включать в структуру обрабатываемого медиафайла картинки, текст, трехмерные изображения.

В связи с тем, что АТС Кутейниково использует устаревшее оборудование, часто поступают жалобы на качество телефонной связи. Исходя из этого принято решение внедрить в перечень услуг модернизируемой сети IP-телефонию. Основное достоинство – использование при передаче данных уже существующие телефонные линии в сжатом виде, что способствует улучшению качества и скорости передачи.

Для контроля рабочей деятельности сотрудников поселковых организаций и учреждений, а также для улучшения охранной деятельности будет введено видеонаблюдение. Информационная модель модернизированной сети приведена на рисунке 2.

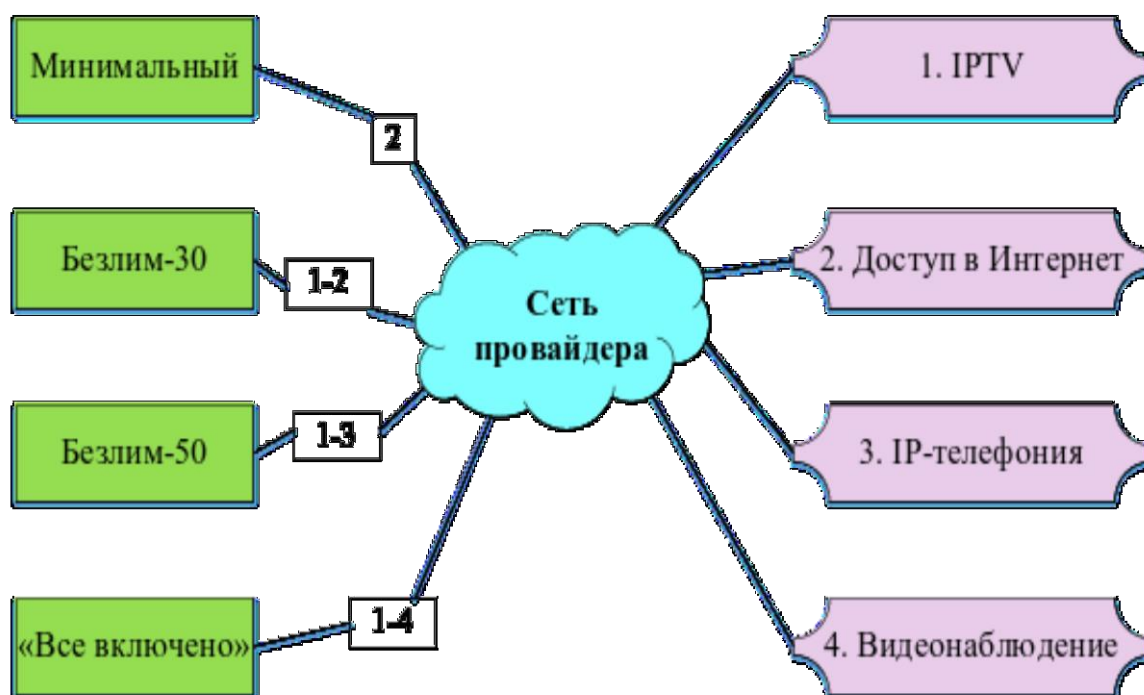


Рисунок 2 – Информационная модель модернизированной сети

От выбранного вида топологии сети зависит ее дальнейшая работа. Существует несколько факторов, исходя из которых происходит выбор топологии:

- доступность подключения для пользователей;
- ширина полосы пропускания с достаточной скоростью передачи данных;
- высокое качество обслуживания абонентов;
- обеспечение сетевого резерва.

Исходя из того, что в процессе модернизации будут внедряться технологии, предполагающие использование волоконно-оптических линий связи, то для пассивных сетей в качестве основной топологии выберем «древовидную». В дальнейшем в процессе совершенствования сети будет использоваться смешанная топология.

Выводы

Изучен объект модернизации – сеть провайдера «MegaNET» на территории п.г.т. Кутейниково. С учётом выявленных недостатков существующей системы обслуживания абонентов составлены новые тарифные планы и разработана информационная модель сети. Исходя из географических особенностей поселка, определена топология обновленной сети провайдера.

Перечень ссылок

1. Шмалько, А. В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения / А. В. Шмалько. – 2001.
2. Слепов, Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н. Н. Слепов. – Москва: Радио и связь, 2003. – 468 с.
3. Ломовицкий, В. В. Основы построения сетей и систем передачи информации / В. В. Ломовицкий, А. И. Михайлов. – Москва : Горячая линия - Телеком, 2005. – 1146 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ РАЙОНА ТРУБНАЯ СТОРОНА Г.ХАРЦЫЗСКА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ GPON.

Кучеренко Б.А., студ.; Дзюба А.В., ст. преп.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Основной задачей мультисервисных сетей является предоставление широкого перечня услуг населению. Зачастую используется распространенная модель «тройной услуги» - доступ в Интернет, IP-телевидение и IP-телефония. Но так как на территории как района, так и всего города, покрытие мобильных операторов на приемлемом уровне, а физическим лицам IP-телефония практически не нужна, разрабатываться сеть будет без технологии VoIP.

Цель работы – разработка мультисервисной сети района Трубная сторона г. Харцызска на базе технологии GPON для предоставления населению услуг доступа в Интернет и IP-телефонии. За основу была взята технология пассивных оптоволоконных сетей GPON (Gigabit Passive Optical Network)

К преимуществам данного выбора перед другими технологиями, в частности перед Ethernet, можно отнести частичную энергонезависимость и, как следствие, защищенность от перепадов напряжения в электрической сети, быстрый и качественный ремонт, простоту монтажа, долговечность и высокую скорость доступа.

Анализ объекта проектирования.

Объектом проектирования выступает район Трубная сторона г. Харцызска. Это крупнейший по площади район города и второй по численности населения.

Район находится в южной части города и является связующим звеном между остальной частью города и автомобильной трассой Н21. Площадь района составляет 11 км². Население составляет около 10 тыс. человек, что является 1/6 от населения всего города. Количество домов частного сектора около 1950, многоэтажных домов около 50.

Для дальнейшей разработки сети район разделен на 4 сегмента (узла) примерно с равным количеством населения. На рисунке 1 изображена схема района.

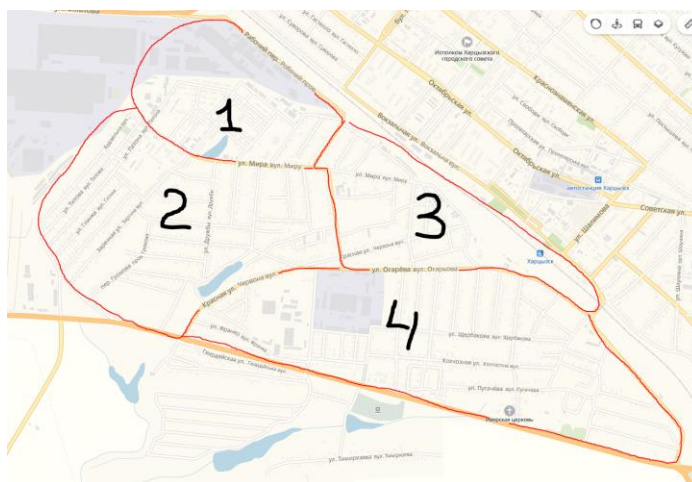


Рисунок 1 – Карта района с разделением на сегменты

Информационная модель сети.

На сегодняшний день на территории района работает 1 провайдер, клиентская база которого составляет 20% населения, то есть 2 000 абонентов. Таким образом, ожидаемое количество первоначальных подключений примем равным 30%, то есть 3 000 абонентов. Такое количество абонентов обусловлено отсутствием надлежащего качества обслуживания и скорости, соответствующей запросам абонентов, у существующего провайдера. Существующие тарифные планы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Тарифные планы существующего провайдера

Название	Скорость доступа	Стоимость/месяц, руб
Льготный	До 11 Mbps	150
ОнЛайн	До 11 Mbps	198
Стандарт	До 33 Mbps	258

Существующий провайдер не использует массово технологию GPON, а новые абоненты подключаются по технологии Ethernet LAN-кабелями категории 5Е, что неактуально, поскольку абонентские потребности превышают возможности этой устаревшей технологии. Кроме того, LAN-кабели являются ненадёжными и требуют частого обслуживания, как и вся сеть в целом.

Исходя из потребностей абонентов, выведены следующие категории:

- 1 категория – только IPTV. Квартирные абоненты, частный сектор.
- 2 категория – только Internet. Квартирные абоненты, частный сектор.
- 3 категория – Internet, IPTV. Квартирные абоненты, частный сектор.

Данные категории выведены для удобства и оптимизации расходов абонентов. Исходя из разработанных категорий абонентов, составлены предполагаемые тарифные планы, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Предполагаемые тарифные планы

Услуга / Тарифный план	IPTV	Базовый	Стандарт	Актив	Максимальный
Internet		+	+	+	+
IPTV	+		+		+
Скорость доступа Internet		100 Mbps	100 Mbps	300 Mbps	300 Mbps

Информационная модель района Трубная сторона разработана на основе разбиения района на узлы (подрайоны) и выведенных категорий абонентов и приведена на рисунке 2.

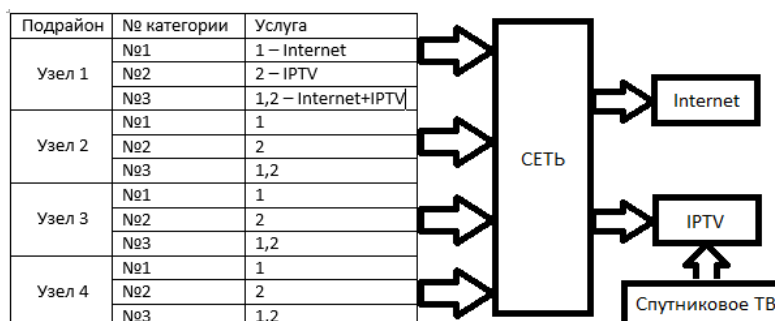


Рисунок 2 – Информационная модель проектируемой сети

Выводы.

В данной статье рассмотрены особенности района Трубная сторона города Харцызска. Проанализирована существующая сеть и тарифные планы действующего провайдера. Разработана информационная модель будущей сети с учётом потребностей абонентов, составлены тарифные планы и рассчитано число ожидаемых подключений к новой сети, основанной на базе технологии GPON.

Перечень ссылок

1. Ломовицкий, В. В. Основы построения сетей и систем передачи информации / В. В. Ломовицкий, А. И. Михайлов. – Москва : Горячая линия - Телеком, 2005. – 1146 с.
2. Довгий, С. В. Современные телекоммуникации / С. В. Довгий. — Москва : ЭкоТрендз, 2003.— 320 с.
3. Шмалько, А. В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения / А. В. Шмалько. – 2001.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОСТУПА К INTERNET НА ПРИМЕРЕ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА С.МАКЕЕВКА

Дубовая О.А., студ.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

За последние годы интернет занял довольно важную часть нашей жизни. Люди пользуются им в повседневной жизни постоянно и часто не могут нормально существовать без доступа к всемирной сети, особенно когда работают удаленно из дома. Многими интернет воспринимается сейчас как обычный ресурс, необходимый для комфортной жизни и занимающий одно место с электричеством, теплом, газом и водой. Сейчас трудно представить нашу жизнь без интернета. Поэтому вполне естественно, что каждый человек рассчитывает получать доступ к ресурсам глобальной сети на высокой скорости и по доступным ценам. Однако для некоторых категорий граждан это до сих пор остается недостижимой мечтой или предметом роскоши. Особенно это касается жителей частных секторов.

Для жителей многоэтажных застроек подключения к сети Интернет не является проблемой, так как чаще всего им предоставляется широкий выбор подключения и различных услуг. Они могут выбрать не только определенный пакет услуг, но, в некоторых случаях, даже провайдера, который будет предоставлять им эти самые услуги. Основной же проблематикой подключения на территории одноэтажной частной застройки является то, что чаще всего на такой территории существует всего один провайдер, который не очень заботится подключением этих абонентов. Бывают даже ситуации, когда в таких населенных пунктах не распространяется обслуживания ни одного провайдера. Все дело в том, что чаще всего провайдеры считают экономически не выгодным вкладывать средства и ресурсы в создание или улучшение сетевой инфраструктуры частного сектора. Объясняется это сложностью прокладки кабеля, большой удаленностью от существующих линий и низкой плотностью потенциальных клиентов. Провайдерам гораздо проще и выгоднее подключать многоэтажные дома, которые требуют меньше потраченных средств, быстро окупаются и начнут приносить прибыль, чем распространять свои услуги на частные застройки.

На рассматриваемой в данной статье территории существует провайдер, но, как и было сказано ранее, не очень активно подключает возможных абонентов. В основном на данной участке в некоторых местах проложены старые медные линии связи, но количество услуг на них сильно ограничено. Так максимальная скорость подключения, предоставляемая этим абонентам, составляет 10 Мбит/с. Конечно, на этой территории существуют абоненты с высокоскоростным подключением по технологии PON с широким пакетом услуг, но их не очень много и они, по большей части, расположены на северо-восточной окраине с. Макеевки, так как она расположена ближе к основной части сети провайдера.

Для начала разберемся какие существуют способы подключения абонентов на больших территориях:

- Ethernet.

Такая технология предусматривает использование все тех же свитчей что и в многоэтажных зданиях. Главная проблема тут заключается в том, что соединение медного кабеля не должно быть длиннее 100 метров, а для частного сектора этого крайне недостаточно чтобы охватить всех клиентов. Это значит, что требуется большее число устройств, нежели обычно, а это экономически не выгодно.

- Wi-Fi.

Это является довольно неплохим вариантом для частного сектора. Во-первых, легкость подключения новых клиентов. Для подключения не требуется возиться с проводами. Все что

требуется для установки – это настроить Wi-Fi соединение в ноутбуке или подключить к компьютеру Wi-Fi сетевую карту. Однако стоит и учитывать, что четкий сигнал будет исключительно на расстоянии до 100 метров от точки доступа. По этой причине прокладывание кабеля по всей территории все равно неизбежно. Кроме того, необходимо найти места для размещения оборудования и подключения электропитания, что тоже является минусом.

- PON.

Пассивная оптическая сеть, в отличие от других способов подключения к интернет, предназначена для работы в частном секторе. Преимущества в том, что между сервером и абонентом нет ничего кроме оптической линии. Промежуточное оборудование исключено из схемы сети. Связь осуществляется непосредственно между абонентом и сервером. Сеть легко поддается администрированию и обслуживанию. Скорость соединения на самом высоком уровне. Данная технология признана перспективной и пользующейся популярностью. Однако основным её недостатком можно назвать высокую цену на абонентское оборудование.

- WiMax.

Фактически – это очень продвинутый Wi-Fi. Дальность связи большая, отраженные сигналы еще лучше. Обеспечивается мобильность (обслуживание абонента передается от одной базовой станции к другой без ухудшения качества соединения). Однако есть и значительные отличия от стандартного Wi-Fi. В первую очередь, БС WiMax – это оборудование не клиентского типа, и предназначено для работы оператора. Это обстоятельство делает оборудование WiMax более требовательным к настройкам. Монтаж также требует серьезной квалификации персонала оператора.

Все эти способы подключения используются в различных населенных пунктах и у каждого есть свои приверженцы и противники. Так многие считают проводные технологии пережитком прошлого и пытаются от них побыстрее избавиться, чтобы освободиться от проводов, которые вечно путаются под ногами и ограничивают свободное перемещение. Но есть так же много людей, которые считают проводные технологии намного надежнее и привычнее, не желающих переходить с уже устоявшегося простого проводного интернета на беспроводные технологии, которые еще в новинку некоторым категориям жителей.

По результатам анализа можно сделать вывод, что существует несколько возможностей подключения абонентов в одноэтажной застройке частного сектора, но у каждой есть свои как положительные, такие как высокая скорость или простота подключения, так и отрицательные качества, такие как высокая стоимость и более сложная настройка.

Перечень ссылок

1. Способы построения сети в частном секторе [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://lantorg.com/article/sposoby-postroeniya-seti-v-chastnom-sektore>
2. Киренберг А.Г. Проблема подключения к интернету малоэтажного жилого сектора и возможный способ ее решения [Текст] / А.Г. Киренберг, О.М. Колесников // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (107). – С. 84–87.
3. PON [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/PON>
4. Радке, Хорст-Дитер Все о беспроводных сетях / Хорст-Дитер Радке , Йеремиас Радке. - М.: НТ Пресс, 2011. - 320 с.
5. Шубин, В. И. Беспроводные сети передачи данных / В.И. Шубин, О.С. Красильникова. - М.: Вузовская книга, 2013. - 104 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ IPTV-ТРАФИКОМ В СЕТЯХ ISP

Заваленкова Е.О., магистрант.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Современные телекоммуникационные технологии практически не ограничивают операторов и пользователей в области предоставляемых услуг. На данный момент наибольший интерес для большинства услуг вызывают свойства интерактивности, персонализации, и мобильности [1].

Поэтому на сегодняшний день в мире ожидается новый переход — в эпоху интерактивного телевидения IPTV. А одно из главных требований пользователя, для любой услуги, является качество принимаемого им контента, которое напрямую зависит от скорости передачи. Для уравнивания этих показателей в системе услуг IPTV нужно умело разместить контент на имеемых серверах, при минимальном их количестве.

В данной статье предлагается рассмотреть способ построения сети с двумя уровнями серверов (рис.1).

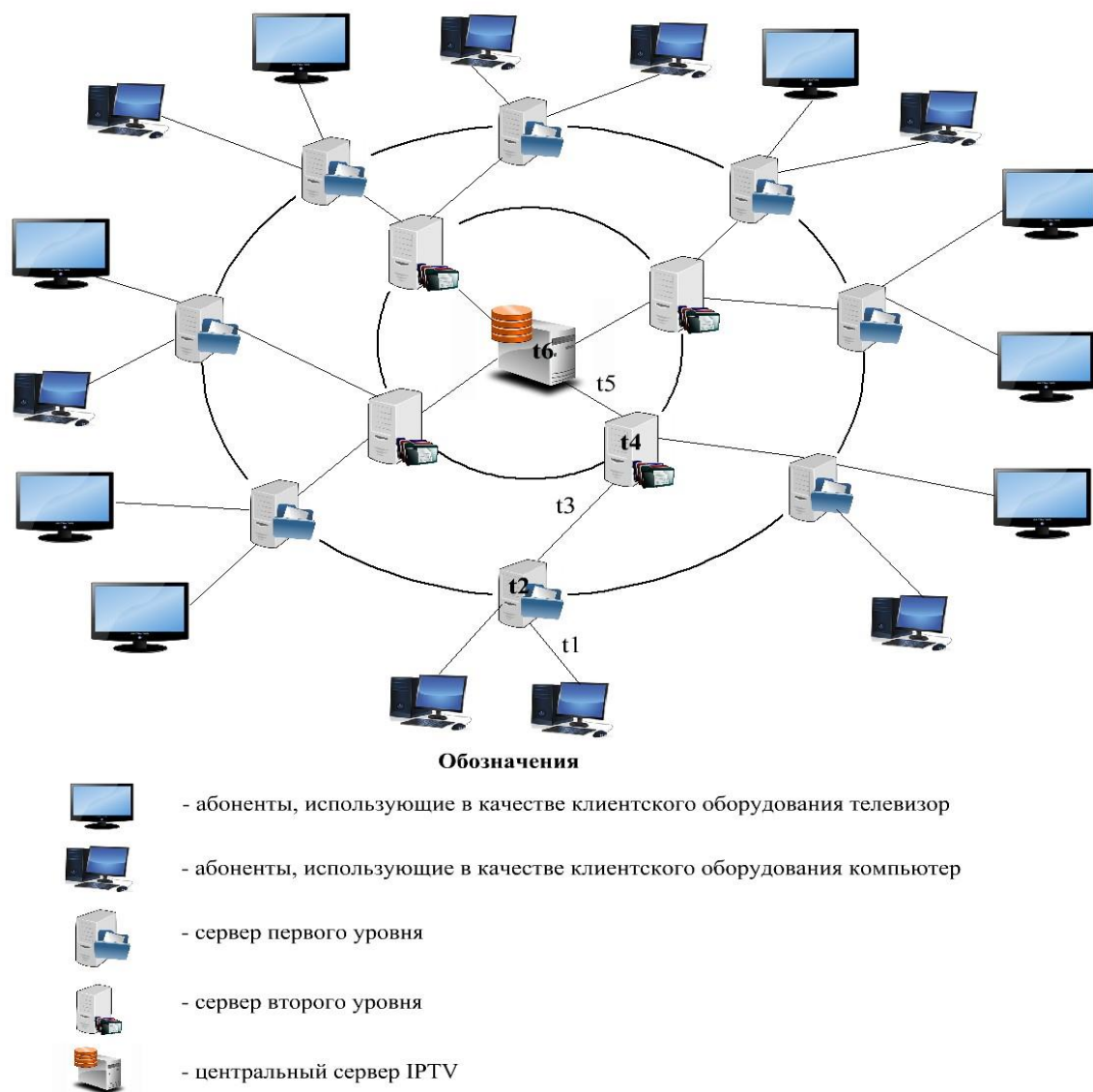


Рисунок 1 – Сеть IPTV, построенная на базе двух уровней серверов

Сервера первого уровня используются для хранения первых 15 минут телепрограмм, что позволяет увеличить количество хранимого контента, а также время доступа абонента к нужным ему телепрограммам. Второй уровень серверов хранит, непосредственно, телепрограммы без начальных 15 минут. Все сервера одного уровня объединены между собой в кольцо, что позволяет осуществлять доступ по запросам телепрограммы или ее начальных минут и в соседние, с ближайшим абонентом, сервера.

Рассмотрим алгоритм кэширования услуг «Видео по запросу». Так как целесообразно хранить только сегменты телепрограммы, то объем серверов может быть ограничен до нескольких гигабайт, что позволит, в свою очередь, сократить объем ресурсов центрального сервера IPTV, и в результате снизить стоимость развертывания услуги.

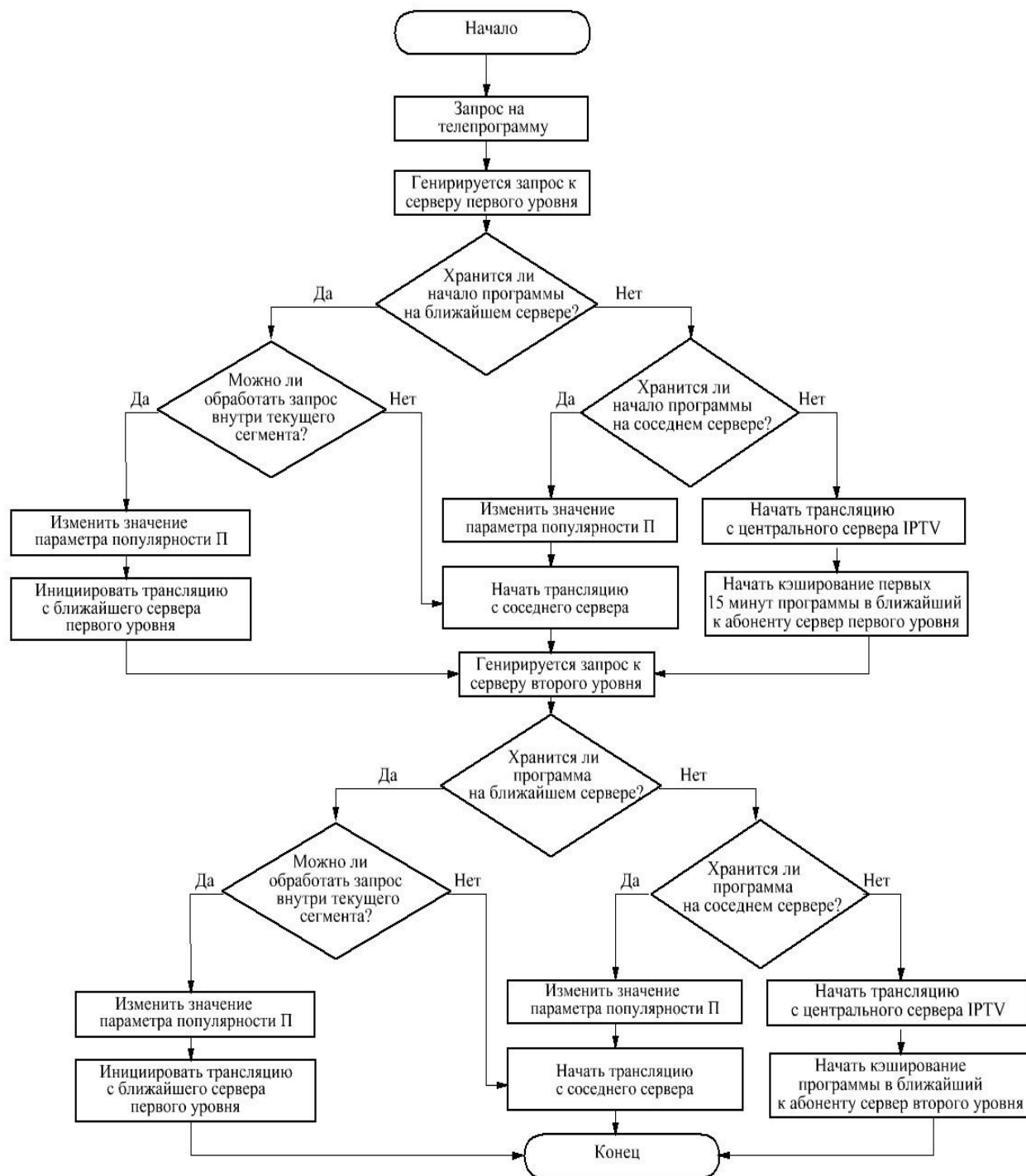


Рисунок 2 – Алгоритм кэширования с использованием двух уровней серверов

На рисунке 2 представлены основные принципы алгоритма кэширования. В течение интервала t_3 запросы просмотра программы абонентами поступают на серверы. Если начало программы не хранится на ближайшем абоненту сервере, запрос осуществляется к соседнему серверу. В случае, когда программы еще нет и в соседнем сервере, трансляция начинается с центрального IPTV сервера (например, кинопремьера только состоялась, и видео еще не успело кэшироваться в сервера). Каждый раз показатель популярности Π обновляется на сервере для программы tv_i . Этот показатель будет использоваться для определения популярности программы, принимая во внимание значение удаленности сервера, на котором она хранится. Это означает, что популярная программа не будет сохраняться в кэш, поскольку соседний сервер уже сохранил эту программу [1].

Для того чтобы определить целесообразность такого построения сети, необходимо рассчитать время запроса на телепрограмму t_i , которое состоит из времени t_1, t_3, t_5 (зависит от пропускной способности линий связи от абонента и между серверами), и времени t_2, t_4, t_6 , (является временем ответа серверов первого, второго уровня и центрального сервера IPTV соответственно).

Нужное время t_i рассчитывается только экспериментальным путем, поскольку в разных сетях, а соответственно, на линиях связи и в серверах действуют различные условия, подходящие только для этой сети. Это и скорость передачи данных в канале связи, длина канала, место и тип линии связи, тип и технические характеристики серверов, нагрузка на сеть. Поэтому для приблизительного расчета времени запроса на телепрограмму t_i воспользуемся несколькими данными из научных статей.

Далее, допустим, что при запросе в 32 байта и пропускной способности канала в 100 Мбит/с длительность прохождения пакета составляет 20 мс. Значит, примем $t_1=20$ мс [2].

Скорость между серверами составляет 1 Гбит/с. Значит, длительность прохождения такого же пакета будет равняться $t_3=t_5=2$ мс.

Время t_2, t_4, t_6 зависит, как правило, от технических характеристик серверов и вычисляется экспериментальным путем. Среднее время отклика сервера составляет порядка 400-500 мс. Возьмем 450 мс [3].

Тогда просуммировав все полученные данные, получим общее время запроса на телепрограмму $t_i=t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6=1354$ мс. Данное время является, временем запроса к центральному серверу IPTV, однако, согласно рассмотренному в данной статье построению сети, такие запросы сводятся к минимуму. Основными запросами являются запросы к серверам первого уровня, время которых составляет $t_{\text{ПУ}}=t_1+t_2=470$ мс.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что рассмотренное в статье построение сети IPTV, является выгодным как для провайдеров, так и для абонентов. Поскольку, провайдер в данном случае минимизирует нагрузку на центральный сервер IPTV, так как количество запросов от абонентов значительно сокращаются, а также получает возможность увеличить количество сохраняемого в серверах контента. Абонент же, в свою очередь, получает большой выбор телепрограмм и малое время на их запрос.

Перечень ссылок

1. А.А. Бородинский Модели и методы управления услугами IPTV в сетях NGN.: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург.2013. с. 6-7.

2. М.К.Бойченко, И.П.Иванов, В.А.Лохтуров. Оценка задержки передачи кадров в сетевых адаптерах // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана сер. «Приборостроение».2014 № 1. с.117.

3. Д.А.Скачков. Исследования механизмов оптимизации времени отклика веб-приложений // Наука и техника. 2014.

РАЗРАБОТКА ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ ОПТОВОЛОКОННОЙ СЕТИ ДЛЯ МИКРОРАЙОНА «50 ЛЕТ ПОБЕДЫ» ГОРОДА ДЕБАЛЬЦЕВО

Ищенко Н.С., студ., Долгих И.П., ст. преп.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

На сегодняшний день скорость Интернет-соединения 20 Мбит/с считается не приемлемой, хотя еще в 2012 году это был почти «потолок» для обычного пользователя. Многие операторы уже предлагают пользователям тарифы со скоростью Интернет-соединения от 20 до 50, 70 или 100 Мбит/с.

Такая тенденция в развитии инфокоммуникационных сетей требует решений, которые позволят не только предоставлять пользователям скоростное Интернет-соединение, но и заложат фундамент на последующую быструю и недорогую модернизацию в случае увеличения потребностей пользователей. Технология Fast Ethernet не справляется с такими запросами современных абонентов, а технология Gigabit Ethernet достаточно дорогая по сравнению с аналогами. На смену этим технологиям приходят и набирают все большую популярность на рынке инфокоммуникационных услуг технологии GPON и GEPON. Пассивные оптоволоконные сети обеспечивают высокую скорость Интернет-соединения (до 2,5 Гбит/с), надежны в работе, и сравнительно недороги.

Пассивные оптоволоконные сети набирают популярность из-за своей надежности и предоставляемой скоростью соединения до 2,5 Гбит/с в соотношении с относительно не дорогой ценой, и становятся лидерами на рынке инфокоммуникационных услуг.

Анализ объекта проектирования

Объектом проектирования инфокоммуникационной оптоволоконной сети является микрорайон «50 лет Победы», располагающийся в северо-восточной части города Дебальцево и имеющий смешанный тип застройки (рисунок 1).



Рисунок 1 – Вид микрорайона «50 лет Победы» города Дебальцево со спутника

Площадь микрорайона составляет около 1 кв. км. В нём находятся тридцать одно пятиэтажное жилое здание, 404 частных дома, а также общеобразовательная школа, детский сад и военизированная охрана Донецкой железной дороги.

В городе Дебальцево проживает порядка 20 тысяч человека, в микрорайоне «50 лет Победы» – около 6260 человек, из них примерно 4960 человек в многоэтажных жилых зданиях и 1300 человек в частном секторе.

При определении возможного количества абонентов многоэтажной застройки, нуждающихся в подключении, учитывалось, что каждый пятиэтажный дом включает 4 подъезда по 4 квартиры на каждом этаже, что составляет 2480 потенциальных абонентов, из которых к новой сети подключатся порядка 45%. Это означает, что 1116 абонентов будут пользователями проектируемой сети.

В случае с частным сектором ситуация сложнее, так как для построения качественной сети, которая будет покрывать стоимость, требуется знать точное количество, и местоположение конкретных абонентов, нуждающихся в подключении. Поэтому, ожидаемое число пользователей проектируемой сети возьмем равным 40%, что будет составлять 162 абонента из 404 возможных в частном секторе.

Информационная модель сети

Проектируемая сеть предоставляет следующие услуги:

- передача данных;
- доступ в интернет;
- IP-телефония (Voice over IP);
- видео-телефония;
- IP-телевидение (IPTV).

Конечному пользователю предоставляются все виды услуг. Это позволяет всех пользователей отнести к одной категории, и разница между ними будет заключаться только в тарифном плане. Тарифный план подразумевает под собой разную скорость Интернет-соединения (50, 100, 200 или 400 Мбит/с).

Уровень взаимодействия абонентов и услуг отражает информационная модель сети (рисунок 2).

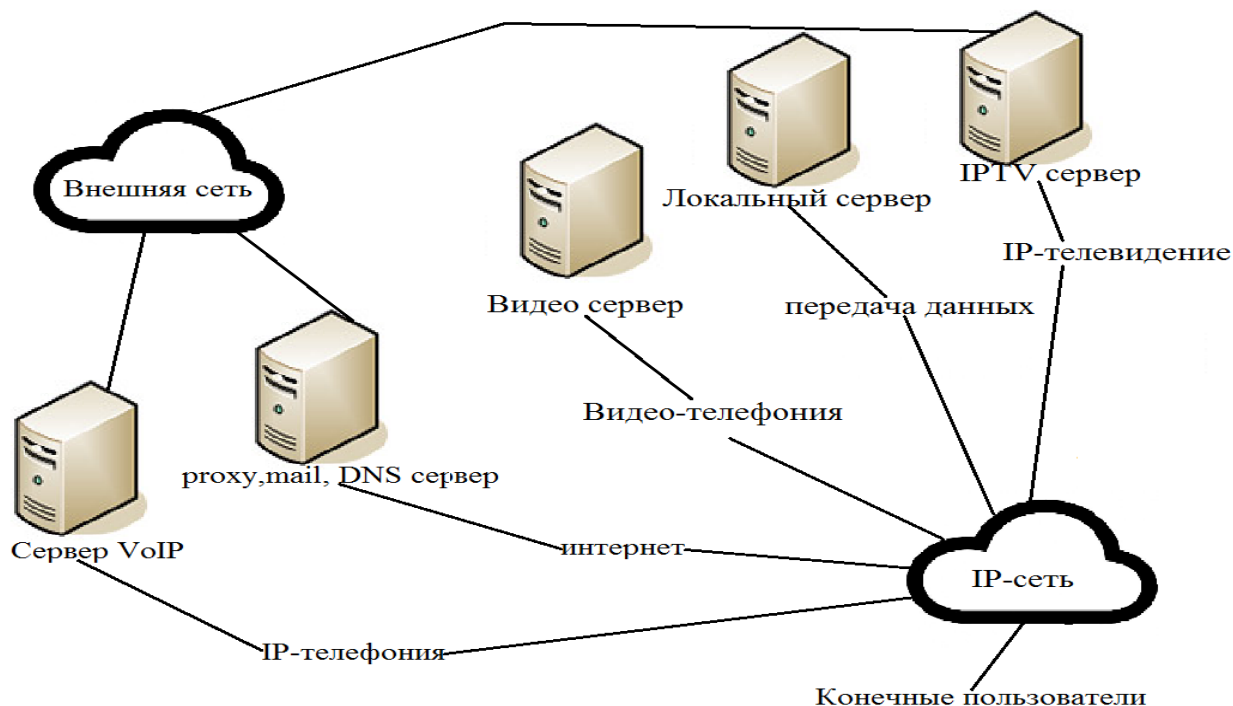


Рисунок 2 – Информационная модель сети

Услуги конечному пользователю предоставляются соответствующим серверным оборудованием. Так IP-телефония обслуживается сервером VoIP, видео-телефония – видео сервером и т.д.

Трафик сети распределяется по трем направлениям:

- замыкается в середине сети (локальный трафик между пользователями);
- поступает к внешним сетям (Интернет, IP-телефония и IPTV);
- направляется к серверному оборудованию (файловый сервер и видео сервер).

За базовую концепцию построения сети выберем трехуровневую модель ядро-распределение-доступ.

Ядро сети выступает главным коммутационным центром и перенаправляет трафик по соответствующим направлениям (внешние сети или локальные сервисы).

Уровень распределения отвечает за агрегацию трафика от нижних уровней в единый поток и отправку его до уровня ядра с целью последующей маршрутизации и агрегации.

Уровень доступа отвечает за агрегацию трафика конечного пользователя и отправку к уровню распределения.

GEPON подразумевает использование древовидной структуры сети, которая предполагает различные варианты построения, от простейших - 1 OLT, 1 модуль SFP OLT, 64 ONU и необходимое количество сплиттеров для разветвления до "многоствольных", когда могут быть задействованы все порты OLT, а также несколько OLT или же многопортовые модели.

На основе предложенной концепции построения сети разработана ее структурная схема, приведенная на рисунке 3.

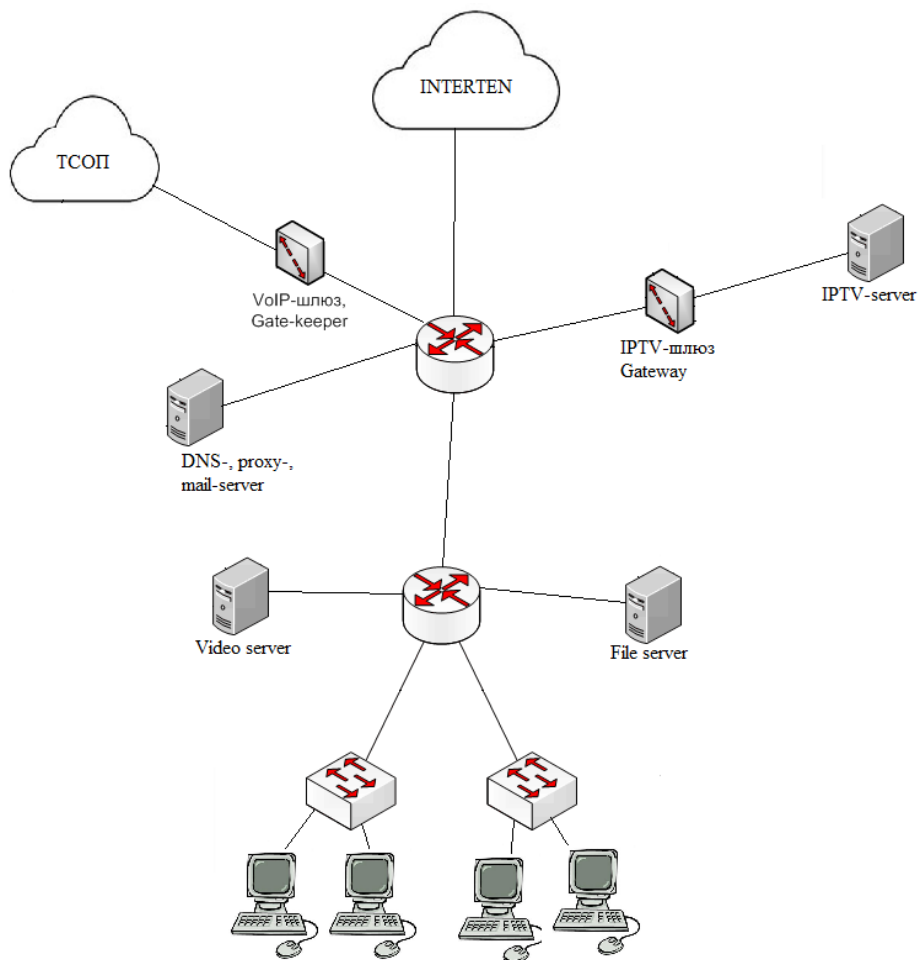


Рисунок 3 – Структурная схема сети

Расчет трафика

Исходные данные для расчета трафика:

- структурная схема сети;
- количество абонентов в каждом узле сети;
- распределение абонентов по различным категориям обслуживания;
- перечень и характеристики предоставляемых сетевых услуг.

Расчет трафика выполнен по методике, в основе которой лежат вероятностные характеристики потоков данных, генерируемых различными сетевыми приложениями.

Трафик рассчитывается отдельно для каждого вида услуги на каждом сетевом узле. Формула для расчета имеет следующий вид:

$$\gamma_i^{(k)} = B_{cp}^{(k)} \cdot N_{аб_i}^{(k)} \cdot T_c^{(k)} \cdot f_{выкл_i}^{(k)}, \quad (1)$$

где k – номер сетевой услуги;

i – номер узла;

$\gamma_i^{(k)}$ – математическое ожидание трафика, генерируемого k -ой услугой на i -м узле;

$B_{cp}^{(k)}$ – скорость передачи данных (в битах или пакетах в секунду) – средняя пропускная способность канала связи, которой достаточно для качественной передачи трафика k -ой услуги;

$N_{аб_i}^{(k)}$ – количество абонентов на i -м узле, которые пользуются k -ой услугой;

$T_c^{(k)}$ – средняя продолжительность сеанса связи для k -ой услуги;

$f_{выкл_i}^{(k)}$ – среднее количество вызовов в час наибольшей нагрузки для пользователей i -го узла, которые используют k -ую услугу.

Сеть состоит из 108 узлов в секторе многоэтажной застройки и 38 узлов в частном секторе, в общей сложности из 146 узлов. На каждый узел в секторе многоэтажной застройки приходится по 32 абонента, для частного сектора по 8 абонентов.

Расчет трафика, генерируемого внутри одного узла с 32-мя выходами.

$$\gamma_{\text{телефония}} = \frac{100 \text{ Кбит/с}}{1} \cdot 32 \text{ аб.} \cdot 180 \text{ с.} \cdot \frac{2 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 320 \text{ Кбит/с}$$

$$\gamma_{\text{передача данных}} = \frac{100 \text{ Мбит/с}}{10} \cdot 32 \text{ аб.} \cdot 10 \text{ с.} \cdot \frac{2 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 1,77 \text{ Мбит/с}$$

$$\gamma_{\text{IPTV}} = \frac{4 \text{ Мбит/с}}{1} \cdot 32 \text{ аб.} \cdot 1800 \text{ с.} \cdot \frac{2 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 128 \text{ Мбит/с}$$

$$\gamma_{\text{видео-телефония}} = \frac{0,8 \text{ Мбит/с}}{1} \cdot 32 \text{ аб.} \cdot 150 \text{ с.} \cdot \frac{3 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 3,2 \text{ Мбит/с}$$

$$\gamma_{\text{Интернет}} = \frac{100 \text{ Мбит/с}}{10} \cdot 32 \text{ аб.} \cdot 900 \text{ с.} \cdot \frac{3 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 240 \text{ Мбит/с}$$

Расчет трафика, генерируемого внутри одного узла с 8-ю выходами

$$\gamma_{\text{телефония}} = \frac{100 \text{ Кбит/с}}{1} \cdot 8 \text{ аб.} \cdot 180 \text{ с.} \cdot \frac{2 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 80 \text{ Кбит/с}$$

$$\gamma_{\text{передача данных}} = \frac{100 \text{ Мбит/с}}{10} \cdot 8 \text{ аб.} \cdot 10 \text{ с.} \cdot \frac{2 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 0,44 \text{ Мбит/с}$$

$$Y^{IPTV} = \frac{4 \text{ Мбит/с}}{1} \cdot 8 \text{ аб.} \cdot 1800 \text{ с} \cdot \frac{2 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 32 \text{ Мбит/с}$$

$$Y^{\text{видео-телефония}} = \frac{0,8 \text{ Мбит/с}}{1} \cdot 8 \text{ аб.} \cdot 150 \text{ с} \cdot \frac{3 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 0,8 \text{ Мбит/с}$$

$$Y^{\text{Интернет}} = \frac{100 \text{ Мбит/с}}{10} \cdot 8 \text{ аб.} \cdot 900 \text{ с} \cdot \frac{3 \text{ выз/час}}{3600 \text{ с}} = 60 \text{ Мбит/с}$$

Результаты расчета трафика, генерируемого внутри одного узла с 32-мя выходами и внутри одного узла с 8-ю выходами, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета трафика

	Телефония	Передача данных	IPTV	Видео-телефония	Интернет	Внутренний трафик	Нагрузка на сосед. узлы	Количество выходов
Y, Мбит/с	0,32	1,77	128	3,2	240	224	149,31	32
Y, Мбит/с	0,08	0,44	32	0,8	60	56	37,32	8

Выводы

Для разрабатываемой инфокоммуникационной оптоволоконной сети микрорайона «50 лет Победы» города Дебальцево поставлены и решены следующие задачи:

- рассчитана потенциальная абонентская база;
- определены услуги, предоставляемые абонентам сети;
- разработана информационная модель сети;
- выбрана концепция и топология сети;
- разработана структурная схема сети;
- рассчитан трафик.

Перечень ссылок

1. Курицын, С.А. Телекоммуникационные технологии и системы: учеб. пособие / – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 304с.
2. Ломовицкий, В.В. Основы построения сетей и систем передачи информации / В.В. Ломовицкий, А.И. Михайлов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2005. – 1146 с.
3. Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для ВУЗов. / В.Г. Олифер. – СПб.: Питер, 2015. – 960 стр.
4. Фриман Р.Л. Волоконно-оптические системы связи / Издательство «Техносфера», 2003. – 590 стр.

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СЕТИ ПРОВАЙДЕРА ДЛЯ УСЛОВИЙ С. ГРИГОРОВКА

Колосков В.В., студ.; Дзюба А.В., ст. преп.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Модернизация инфокоммуникационной сети населенных пунктов является актуальной задачей на данный момент. Ежегодно обновляется оборудование, появляется контент, требующий более высоких мощностей, у абонентов меняется техника и появляются новые технологии. Именно поэтому у каждого пользователя возникают новые потребности в широкополосном сервисе, которые не может удовлетворить устаревшее оборудование. Причиной этого являются слабые скорости передачи данных, частые перебои в сети, отсутствие актуальных тарифов.

На территории Донецкой Народной Республики существует множество провайдеров, предоставляющих абонентам услуги (IP-телефония, доступ в Интернет, IPTV, видеонаблюдение). В отдаленных от Донецка и других крупных городов районах спектр услуг и качество обслуживания ниже. Особенно сложная ситуация с обеспечением телекоммуникационными услугами сложилась в населенных пунктах с небольшим количеством жителей.

Анализ объекта проектирования

Объектом для проектирования сети выступает село Григоровка, которое расположено в Тельмановском районе Донецкой области.

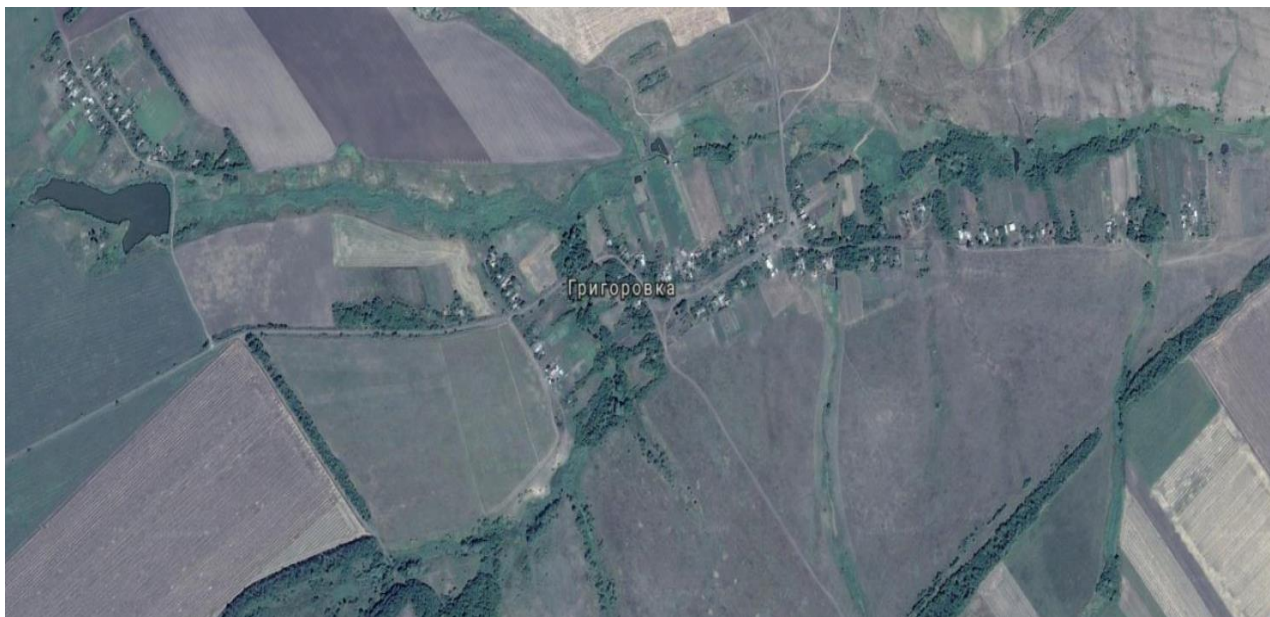


Рисунок 1 – Карта села Григоровка

Население села Григоровка составляет порядка 350 человек, и ежегодно сокращается. Село делится на два безымянных района, расстояние между которыми составляет около 2-3 км. Во время военных действий в 2015 году Григоровка была одной из самых горячих точек, в связи с чем, там не прокладывали телекоммуникационные сети.

Основными характеристиками села, на которые необходимо обратить внимание при построении сети, являются:

- средний возраст населения – около 65-70 лет;
- отсутствие крупных предприятий на территории села;
- равнинная местность.

Анализ абонентского состава

Население села составляет приблизительно 350 жителей. На его территории располагается около 70 домов небольшой этажности. Основной контингент – это люди пенсионного возраста, которые не нуждаются в широком спектре телекоммуникационных услуг. Поэтому основной актуальной для них услугой будет доступ к Интернет-ресурсам. Это повысит социальную вовлеченность жителей в жизнь региона.

Известно, что люди пенсионного возраста, как правило, не заинтересованы в большинстве услуг, которые представляют современные мультисервисные сети, но для них важны просмотр телевидения и общение с родственниками в сети. Поэтому такие стандартные для большинства провайдеров услуги, как IP-телефония и видеонаблюдение, очевидно, будут востребованы очень небольшим количеством потенциальных абонентов Григоровки.

Информационная модель сети

На основе социального анализа абонентского состава выберем две наиболее востребованные услуги.

1. Доступ к Интернет-ресурсам будет осуществляться за счет более дешевого оборудования и не самых современных технологий. Предполагается, что передача данных будет осуществляться по волоконно-оптическим линиям. Беспроводные линии связи будут отсутствовать, а скорость будет единой для всех абонентов. Это обусловлено малочисленностью и однородностью абонентского состава Григоровки, а также его невысокой мобильностью.

2. IPTV – цифровое телевидение в сетях передачи данных по протоколу IP. Основное преимущество последнего в том, что ограничения по количеству транслируемых каналов фактически нет, а ограничивается лишь пропускная способность канала. Основной тип передачи трафика – multicast – с сервера передается только одна копия ТВ-потока, который доставляется всем абонентским устройствам, пославшим запрос на его получение. Важным моментом multicast передачи является факт того, что она не предполагает отправки абонентских запросов на вещательный сервер — они доходят лишь до ближайшего маршрутизатора, на который в данный момент уже поступает требуемый ТВ-поток. Поток вещательного телевидения принимается со спутника в видеоцентре провайдера и разворачивается в потоки со стандартами сжатия MPEG-2, MPEG-4 или HD. Желательно использовать MPEG-4. Данная технология сжатия видеопотоков позволяет получить меньшие скорости передачи потоков при одинаковом качестве видеосигнала.

Предполагаемая скорость для абонентов будет составлять 50 Мбит/с. Её будет достаточно, чтобы удовлетворить потребности населения Григоровки в наиболее востребованных телекоммуникационных услугах. Услуги будут предоставляться в рамках двух тарифов: «Стандарт» и «Стандарт плюс». Их характеристики представлены в таблице 1.

Специфика социального состава абонентов приводит к тому, что в отличие от большинства используемых тарифных планов современных провайдеров, набор услуг в Григоровке будет ограниченным.

Таблица 1 – Виды тарифных планов

Название услуги	Стандарт	Стандарт плюс
Доступ к Интернет		+
IPTV	+	+

Для последующего подробного анализа прогнозируемого трафика составим информационную модель сети, представленную на рисунке 2.

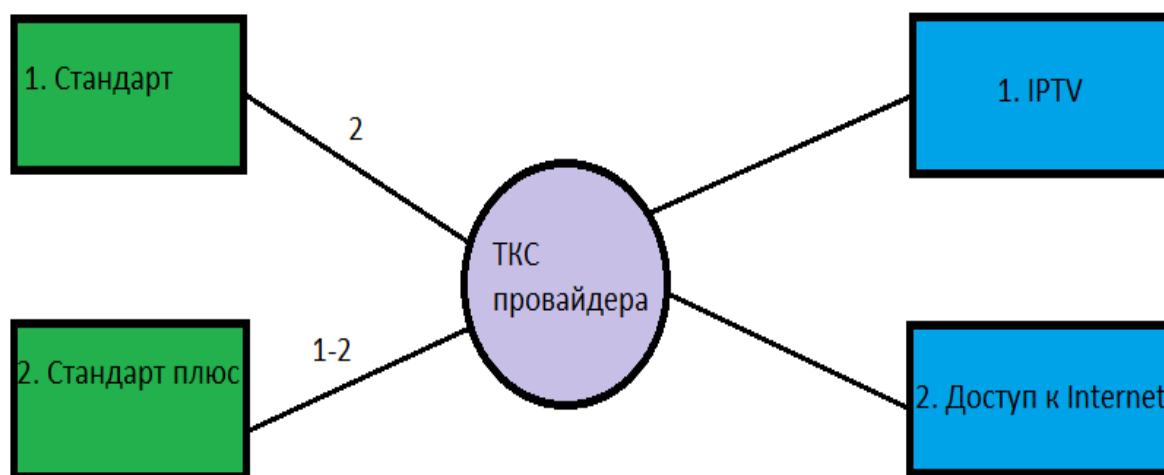


Рисунок 2 – Информационная модель проектируемой сети

Таким образом, каждый абонент сети проектируемой сети провайдера получит доступ к Интернет-ресурсам и возможность использования IPTV. Это даст возможность населению Григоровки стать полноценной частью информационного поля республики, а также иметь альтернативные каналы связи с другими населенными пунктами.

Выводы

Проведено исследование объекта проектирования села Григоровка, для которого будет разработана мультисервисная сеть. Его характерной особенностью является отсутствие промышленных предприятий, крупных организаций и учреждений, небольшой численный состав населения, а также преобладание среди него людей старшего возраста. Исходя из анализа абонентского состава, предложены два тарифных плана, которые удовлетворят основные потребности жителей Григоровки в телекоммуникационных услугах. С учётом социальных особенностей населенного пункта разработана информационная модель сети.

Перечень ссылок

1. Слепов, Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н. Н. Слепов. – Москва : Радио и связь, 2003. – 468 с.
2. Шмалько, А. В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения / А. В. Шмалько. – 2001.
3. Ломовицкий, В. В. Основы построения сетей и систем передачи информации / В. В. Ломовицкий, А. И. Михайлов. – Москва : Горячая линия - Телеком, 2005. – 1146 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Косенко А.П., студ.; Молоковский И.А., доц., к.т.н.

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР)

В последнее время наблюдается резкое увеличение объема передаваемого трафика по инфокоммуникационным сетям связи. Это обусловлено бурным развитием технологий передачи информации в данной отрасли. Что приводит, в свою очередь, к повышению требований к надежности и безотказной работы средств коммуникации. Надежность напрямую зависит от нагрузки, поступающей на сеть, если она превышает ее избыточность, то появляются отказы и потери данных. Термин безотказной работы характеризует возможность системы сохранять свою работоспособность не только в режиме штатной нагрузки, но и в случае пиковой. В данной статье рассмотрены методы определения структурной надежности в инфокоммуникационных сетях.

Целью работы является повышение качества функционирования мультисервисной сети за счет совершенствования структуры по критериям функциональной надежности и пропускной способности. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть существующие методы повышения структурной надежности сети;
- анализ существующих моделей прогнозирования трафика;
- посчитать математические модели, выбранного метода для исследования;
- проанализировать результат выполненных расчетов.

Методом для определения структурной надежности мультисервисной сети связи (МСС) выбран приближенный (с использованием прогнозирующих подходов). Выбор обусловлен тем, что для огромных по своему объему процессов, протекающих в инфокоммуникационных сетях связи, применение сложных математических моделей будет проблематично из-за громоздкости вычислительных алгоритмов и большой размерности графов. Применение подхода состоит в том, что V_i – это отношение количества команд i -го типа к усредненной численности команд I , которые выполняются при однократном выполнении вычислительный процессов в сетевом устройстве, где $i=1, M$, а M – это количество видов команд, примененных при вычислениях, реализующихся в компоненте сети. В этом случае вероятность безотказной работы и выполнения задачи (P_3) вычисляется по формуле:

$$P_3 = P_K^{\lceil t_3 / t_K \rceil}, \quad (1)$$

где $P_K = \sum_{i=1}^M V_i P_i$ – вероятность выполнения средней команды;

P_i – вероятность выполнения i -й команды;

V_i – находится с использованием метода Гибсона.

Расчет вероятности безотказного выполнения команд в течение времени t вычислительного процесса $P_{en}(t)$ основан на результатах расчета или оценки показателя безотказной работы P_3 и на конкретной математической модели, описывающей поток запросов для задачи. В большинстве практических случаев поток запросов может быть принят Пуассоном. Это связано с большим количеством неприоритетных факторов, вызывающих приложения. Отсюда нет последствия и обычного, и стационарного потока, то есть тех свойств, которые присущи простейшему потоку. Тогда вероятность того, что в течении времени t поступит i -е количество заявок, определяется формулой:

$$P_{(i,t)} = \frac{(\mu t)^i}{i!} t^{-\mu}.$$

Из этого следует:

$$P_{ВП} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(\mu t)^i}{i!} e^{-\mu} * P_3^i = e^{-\mu} * e^z,$$

где $z = \mu t P_3$.

В результате получаем:

$$P_{ВП} = e^{-\mu t e z} = e^{-\mu(1-P_3)t} = \exp[-\mu(1-P_3)t]. \quad (2)$$

Средняя работа до отказа зависит от вычислительного процесса и определяется выражением:

$$T_{ВП} = \int_{t=0}^{\infty} P_{ВП}(t) dt = \int_{t=0}^{\infty} \exp[-\mu t(1-P_3)] dt = \frac{1}{\mu(1-P_3)}. \quad (3)$$

Таким образом, средняя наработка до функционального отказа относительно вычислительных процессов обратно пропорциональна вероятности потока заявок на выполнение задач.

Вероятность безотказного выполнения информационных процессов за время t рассчитывается по формуле (2) с разницей, что вместо интенсивности μ в данную формулу подставляется интенсивность приема запросов на передачу сообщений γ , а вместо вероятности надежного выполнения задачи P_3 подставляется вероятность P_c ошибки при передаче пакета.

Подобные замены выполняются и в формуле (3) при вычислении среднего времени до функционального отказа относительно информационных процессов.

Выше описанный метод, как было уже сказано, позволяет определить структурную надежность МСС, а для повышения существуют различные методы. Прежде всего, это аппаратная избыточность и временная избыточность. Что касается функциональной надежности, то эффективность структурной избыточности проблематична. Это связано с тем, что ошибки в вычислительном процессе нельзя устранить переключением на резерв, если эти ошибки вызваны случайными сбоями, программными ошибками или ошибками во входной информации. В информационном процессе ошибки устраняются с помощью информационной избыточности. Временное резервирование может иметь ощутимый эффект в повышении функциональной надежности, однако применение традиционных методов двойного-тройного подсчета применимо там, где нет слишком жестких временных ограничений для выполнения задач.

Эти соображения предполагают необходимость комплексного применения гибких стратегий для обеспечения функциональной отказоустойчивости МСС. Эти стратегии, наряду с вышеупомянутыми, включают введение контрольных точек при реализации вычислительных и информационных процессов. Подход хорошо известен, однако, если временные интервалы между контрольными точками выбраны таким образом, что во них между приложениями для обеспечения обнаружения и устранения функциональных частичных сбоев содержание и эффективность такой стратегии радикально изменятся. Другой эффективной стратегией повышения функциональной надежности является использование естественной, временной, функциональной и структурной избыточности в МСС.

Для парирования функциональных сбоев целесообразно ввести специальные механизмы рационального использования избыточности. Эти механизмы вместе с избыточными средствами образуют средства обеспечения функциональной отработки отказа (ССО).

Назначение средств обеспечения функциональной отработки отказа:

- обнаружение факта ошибки в программе или в работе технических средств;
- локализация неисправностей;
- классификации неисправности;
- принятия решения о характере неисправности и прерывание выполнения задачи процесса;
- обнаружения места повреждения;
- реорганизации МСС и маскировки неисправности;
- восстановление выполнения задач процесса.

Таким образом, СОО предназначены для обеспечения адаптации МСС к функциональным сбоям. Очевидно, что основное слово по определению состава и структуры СОО стоит за разработчиками МСС.

Показатель, который показывает эффективность СОО, является вероятность β успешного согласования МСС и ССО к функциональным отказам

$$\beta = P\{\Omega \leq \Omega_g\},$$

где Ω - это структурный, временной ресурс, использующийся без ухудшения других показателей защищенности;

Ω_g - допустимый ресурс расхода.

Если ресурсом является время, а допустимый расход - это допустимое время перебоев в работе МСС t_g , то:

$$\beta = P\{V \leq t_g\} = \int_0^{t_g} f_V(t) dt,$$

где V - это интервал от начала появления неисправности до момента исправления ее и восстановления рабочего процесса;

$f_V(t)$ - функция плотности распределения случайного времени V .

Допустимое время перебоев в работе системы является случайным и распределяется по экспоненциальному закону, и параметром ρ_g , и по полной формуле вероятности видим:

$$\beta = \int_0^{\infty} P\{V \leq V_g\} \rho_g e^{-\rho_g t} dt = [f_V * (S)]_S = \rho_g,$$

где $f_V * (S)$ - является преобразованием Лапласа.

Оценим вероятность того, что в процессе выполнения задачи либо не возникнут функциональные сбои, либо возникшие частичные функциональные сбои будут успешно нейтрализованы посредством обеспечения отказоустойчивости на основе допустимых затрат избыточных ресурсов. Обозначим вероятность безотказного выполнения задачи как P_3 и вероятность того, что при выполнении задачи не возникло функциональных сбоев как P_1 . Тогда вероятность безотказного выполнения задания под видом СОО будет равна:

$$P_{31} = P_3 P_1 + (1 - P_3) P_1 \beta_1 = 1 - g_3 - g_1 + g_3 g_1 + \beta_1 (g_3 - g_3 g_1),$$

где β_1 - вероятность успешного принятия первого уровня защиты; $g_1 = 1 - P_1$; $g_3 = 1 - P_3$.

Если $g_1 \leq 1$ и $g_3 \leq 1$, то с погрешностью не большей второго порядка определяем:

$$P_{31} = 1 - g_1 - g_3 (1 - \beta_1). \quad (4)$$

Между вероятностью успешного приспособления МСС к отказам с вероятностью g_1 и g_{p3} . $\beta_1=1-\exp[-\sigma\xi]$, где $\sigma=5\dots 10$ – это нормировочный коэффициент, а $\xi = \frac{g_1}{g_3 + g_1}$.

При помощи этой зависимости можно смоделировать влияние вероятности отказов программных средств ССО на эффективность приспособления МСС к отказам.



Рисунок 1 – Зависимость вероятности безотказной работы сети от отношения вероятностей функциональных отказов с одноуровневой защитой

С помощью формулы (4) можно оценить уменьшение вероятности отказа благодаря применению защиты. Рассмотрение показывает, что при относительно небольшом объеме защиты ($g_1/g_3 \leq 0,5$) эффективность защиты является наибольшей. По мере увеличения объема защиты возрастает вероятность успешной адаптации к функциональным сбоям. Однако при этом увеличивается вероятность возникновения функциональных отказов в самой СОО. Это подразумевает необходимость решения задачи определения допустимой небезопасности защиты МСС от функциональных сбоев.

На рис. 1 видно, то чем меньше вероятности отказов, тем больше вероятность безотказной работы системы.

Данный подход можно применять n количество раз.

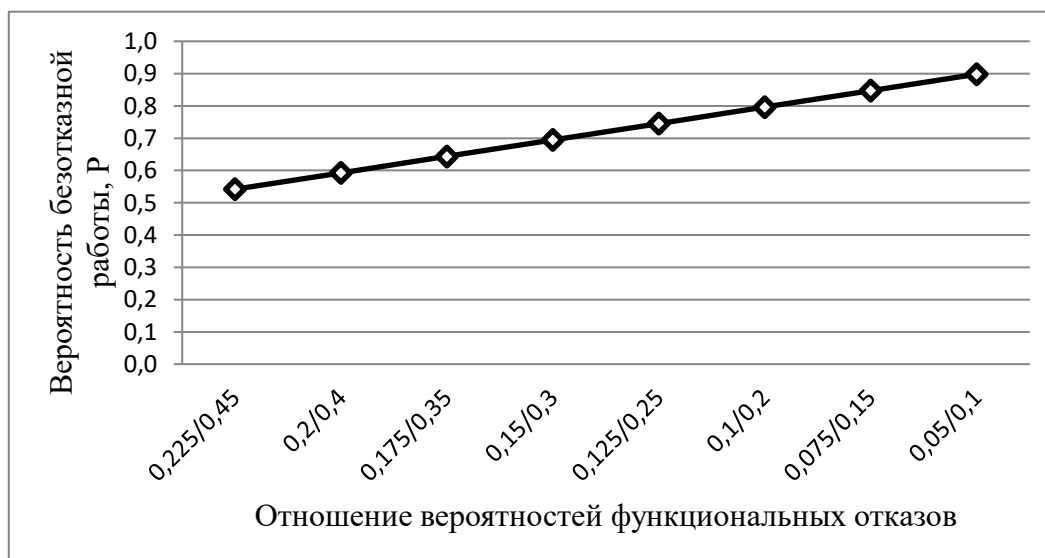


Рисунок 2 – Зависимость вероятности безотказной работы сети от отношения вероятностей функциональных отказов с двухуровневой защитой

Из рис. 2 можно сделать вывод, что чем больше уровней защиты применяется в инфокоммуникационной сети, тем стабильней и надежней будет работа системы. Для

наглядности приведем график безотказной работы МСС с применением трехуровневой защиты.



Рисунок 3 - Зависимость вероятности безотказной работы сети от отношения вероятностей функциональных отказов с двухуровневой защитой.

Данный метод можно применить к крупным, разветвленным сетям, например, пенсионного фонда или налоговой службы, которые требуют высокой надежности и бесперебойной работы.

В данной статье представлен приближенный метод оценки функциональной надежности инфокоммуникационной сети. Показаны математические модели, применяемые в нем, основанные на преобразовании Лапласа. Приведены формулы для расчета вероятности безотказной работы системы связи, а так же графики, доказывающие эффективность применения приведенных подходов по увеличению надежности и отказоустойчивости МСС.

Перечень ссылок

1. Дёмин В.К., Тютин Н.Н., Чудинов С.М., Храмушин Г.К. Региональные информационные системы, методы их структуры и функциональной оценки. – Белгород, 2008. – 320 с.
2. Волкова В.Н., Денисов А.А. Темников Ф.Е. Методы формализованного представления систем: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГТУ, 1993. – 107 с.
3. Шувалов В.П., Егунов М.М., Минина Е.А. Обеспечение показателей надежности телекоммуникационных систем и сетей. – 2015. – 168 с.
4. Киселев Л.К., Маркелов А.П., Воробьев Б.В. Концептуальные основы обеспечения устойчивости сетей связи. – 1994.
5. Нетес В.А. Надежность сетей связи: тенденция последнего десятилетия. – 1998.
6. Букринский С.А. Проблема обеспечения устойчивости, живучести и безопасности сетей связи. – 2006.
7. Глушко А.В., Глушко В.П. Преобразование Лапласа. Свойства и применения. – Воронеж, 2004. – 59 с.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА УЛУЧШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЮ МІМО

Максимов М.А., магистрант

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

С темпом роста беспроводных технологий все больше интереса представляет система МІМО (Multiple Input Multiple Output – Множественные входы, множественные выходы).

Целью данной работы является исследование методов оценки помехоустойчивости и системы МІМО за счет внедрения методики сингулярного разложения корреляционной матрицы. Для достижения указанной цели, потребовалось решение следующих задач:

- внедрить методику определения помехоустойчивости технологии МІМО за счет сингулярного разложения канальной матрицы;
- произвести необходимые расчеты в вычислительно программном продукте для получения и сравнения результатов.

Таким образом, в данной работе проводится внедрение оценки помехоустойчивости технологии МІМО за счет сингулярного разложения канальной матрицы. Данная методика оценки сравнивается с моделью вычисления помехоустойчивости системы МІМО, для однородных и постоянных во времени каналов.

Для начала рассмотрим методику сингулярного разложения канальной матрицы. Особенностью данного метода является выделение и расчет собственных значений подканала за счет сингулярного разложения матрицы.

Для определения помехоустойчивости системы МІМО данным методом необходимо соблюдать следующий алгоритм:

1. Требуется ввести исходные данные, которыми являются количество передающих M и приемных N антенн для системы МІМО, а также величину коэффициента корреляции γ .
2. Затем приступаем к выбору вида корреляционной матрицы.
3. Далее вычисляем обобщенную корреляционную матрицу \mathbf{R}_{MIMO} .
4. Теперь создаем произвольную матрицу коэффициентов передачи \mathbf{H} по формуле:

$$\mathbf{H} = \sqrt{0,5} * \text{rand}(N, M) + j * \text{rand}(N, M), \quad (1)$$

где N и M являются количеством приемных, передающих антенн соответственно.

5. Затем необходимо расширить корреляционную канальную матрицу.
6. Подверженное сингулярному разложению канальной матрицы.
7. Для дальнейшей работы требуется построение матрицы \mathbf{KQ} .

$$\mathbf{KQR}_{\text{MIMO}} = \begin{bmatrix} \frac{\eta_1 p_1 E_b}{2MN_0} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\eta_2 p_2 E_b}{2MN_0} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\eta_K p_K E_b}{2MN_0} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

8. Вычисление собственных чисел матрицы \mathbf{KQR} и \mathbf{H} .
9. И, наконец, вычисляем помехоустойчивость, используя формулу:

$$\rho_{\text{ош}} = M \left\{ \frac{1}{2} \left[1 - \sum_{i=1}^F \frac{\lambda_i^{F-1}}{\prod_{s=1, s \neq i}^n (\lambda_i - \lambda_s)} \sqrt{\frac{\lambda_i}{1 + \lambda_i}} \right] \right\}, \quad (3)$$

где K – количество подканалов, $F=K^2$

Пользуясь приведенным выше алгоритмом вычисления помехоустойчивости можно составить блок схему программного вычисления, которая приводится ниже.

Как можно заметить из рисунка 2, представленного выше, показано сравнение помехоустойчивости для системы ММО с различным количеством приемо-передающих антенн для случая неоднородных каналов при величине корреляции 0.8. Анализируя данные рисунка 2 видно, что при вероятности ошибки $0.001 (10^{-3})$ система ММО_{3x3} имеет энергетический выигрыш в 4 дБ в отношении системы ММО_{2x2}. При таком же значении вероятности имеем, что со стороны ММО_{4x4} энергетический выигрыш сравнивая с системой ММО_{2x2} аж на 7 дБ. Отсюда следует, что с увеличением приемо-передающих антенн будет расти и помехоустойчивость.

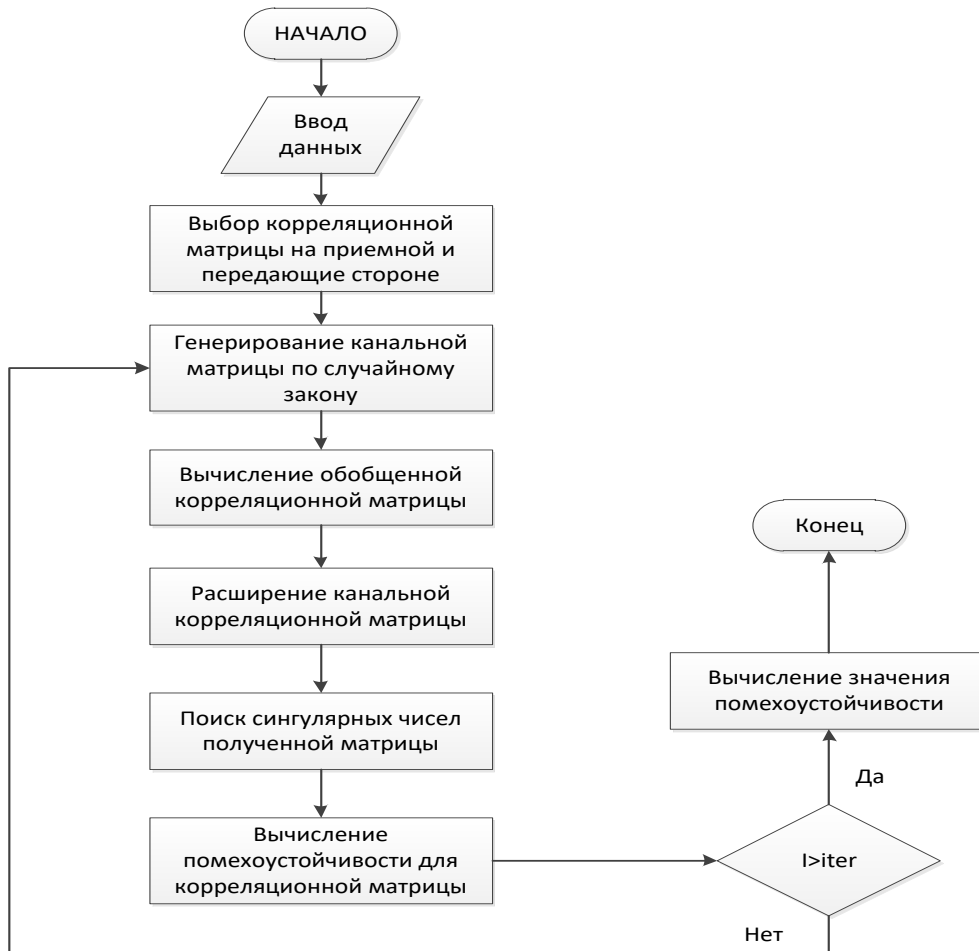


Рисунок 1 – Блок схема алгоритма вычисления помехоустойчивости для системы ММО за счет сингулярного разложения канальной матрицы.

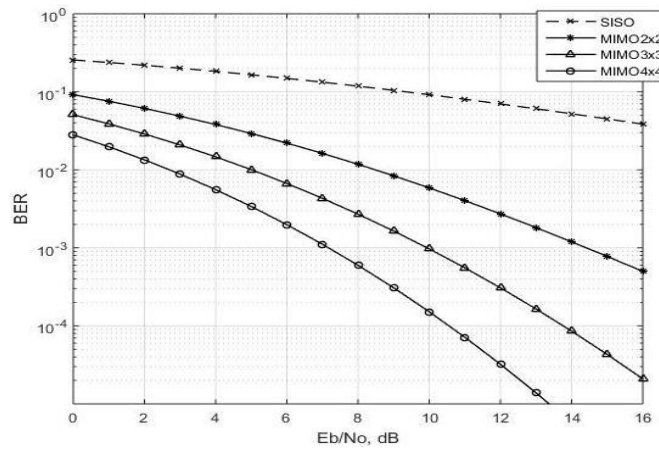


Рисунок 2 – Зависимость вероятности ошибки для неоднородных каналов от E_b/N_0 , дБ системы MIMO различного порядка и коэффициента корреляции $r = 0.8$, при двоично фазовой модуляции (BPSK).

Теперь рассмотрим метод вычисления помехоустойчивости системы MIMO для однородных и постоянных во времени каналов. Для вычисления помехоустойчивости данным методом также необходимо соблюсти алгоритм, который приводится ниже.

Алгоритм данной модели состоит из следующих шагов:

1. Необходимо ввести исходные данные, которыми является количество приемопередающих антенн используемой системы MIMO и величина коэффициента корреляции R_{TX} и R_{RX} .
2. Затем выбираем вид корреляционной матрицы на приемной и передающей стороне в зависимости от количества антенн используемой системы.
3. Далее вычисляем обобщенную корреляционную матрицу для использованной системы MIMO, используя произведение Кронекера:

$$R_m = R_{TX}^T \otimes R_{RX} \quad (4)$$

4. На следующем шаге вычисляем собственные числа обобщенной корреляционной матрицы для нашей системы.
5. И, на конец, вычисляем помехоустойчивость, используя формулу:

$$\rho_{ош} = \frac{1}{2} \left[1 - \sum_{k=1}^n \frac{\lambda_k^{n-1}}{\prod_{p=1, p \neq k}^n (\lambda_k - \lambda_p)} \sqrt{\frac{\lambda_k}{1 + \lambda_k}} \right] \quad (5)$$

Используя приведенный выше алгоритм, была составлена блок схема вычисления помехоустойчивости.

На рисунке 4 представлены графики помехоустойчивости для систем SIMO (Единичный вход, множественный выход) и MIMO которые были рассчитаны в специальном математическом пакете при величине корреляции 0.8. Из данного рисунка можно видеть получение следующих результатов:

- 1) Относительно системы MIMO, при величине вероятности ошибки равной 10^{-3} система MIMO_{3x3} имеет энергетический выигрыш на 7 дБ в отношении системы MIMO_{2x2}. Что касается системы MIMO_{4x4}, то тут энергетический выигрыш уже составляет 9 дБ.
- 2) При том же значении вероятности ошибки выигрыш между MIMO_{2x2} и SIMO_{1x2} составляет 3 дБ. Также выигрыш между MIMO_{3x3} и SIMO_{1x3} составляет 3 дБ, а выигрыш между MIMO_{4x4} и SIMO_{1x4} равен 2.5 дБ.



Рисунок 3 – Блок схема алгоритма вычисления помехоустойчивости для системы MIMO в условиях однородного и постоянного во времени канала.

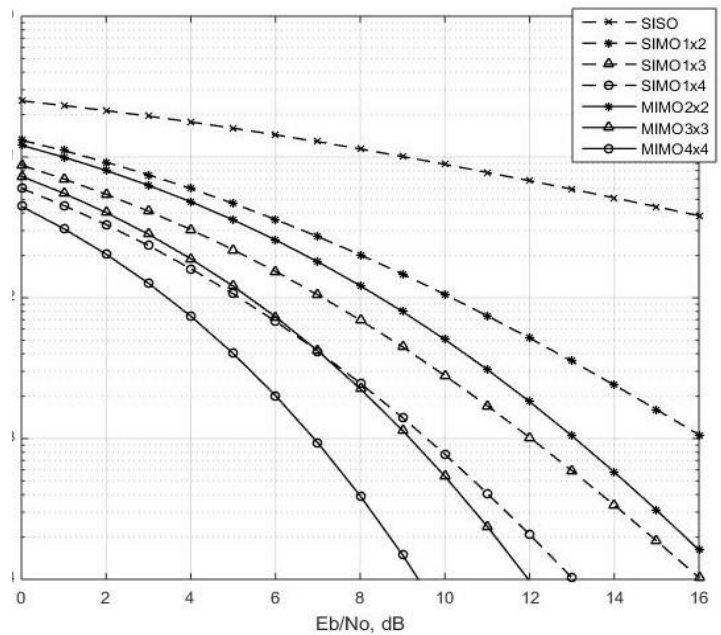


Рисунок 4 – Зависимость вероятности ошибки от E_b/N_0 для систем SIMO и MIMO при $r = 0.8$, модуляция BPSK.

Подводя итоги можно сказать, что предложения методика расчета помехоустойчивости за счет внедрения сингулярного разложения канальной матрицы имеет меньшие результаты энергетического выигрыша по сравнению с методикой определения помехоустойчивости для однородных и постоянных во времени каналов. Сравнивая результат можно сказать, что выигрыш MIMO_{3x3} относительно MIMO_{2x2} использующий методику сингулярного разложения корреляционной матрицы уступает на 3 дБ в отношении методики определения помехоустойчивости для однородных и постоянных во времени каналов. Рассматривая систему MIMO_{4x4}, энергетический проигрыш составляет 2 дБ. Отсюда следует, что с увеличением количества приемо-передающих антенн и равномерного распределения нагрузки предложенная методика будет предпочтительнее, поскольку с увеличением антенн выигрыш будет только расти.

Перечень ссылок

1. W.C. Jakes. Microwave Mobile Communications//IEEE Press, New York, 1974. p.39-45.
2. H. H. Chen, Y. Y. C. Tsai, and W. Chang, "Uplink Synchronization Control Technique and its Environment-Dependent Performance Analysis," Electronics Letters, vol. 33, pp. 1555 - 1757, Nov. 2003.
3. Лысяков Д.Н. Анализ и синтез адаптивной обработки сигналов в системах радиосвязи с параллельной передачей информации по пространственным подканалам: дис. канд. физ. мат. наук. - Нижний Новгород, 2010. – 123с.

АЛГОРИТМ МАРШРУТИЗАЦИИ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Метейко В.А., магистрант; Червинский В.В., доц., к.т.н.; Лозинская В.Н., к.т.н., доц.
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Беспроводные сенсорные сети (БСС) — самоорганизующиеся, распределенные, масштабируемые сети, состоящие из множества автономных сенсоров (сенсорных узлов), объединенных посредством радиоканала. Одной из важных задач в этой связи является обеспечение максимально долгого времени жизни БСС, решение которой возлагается также и на протокол маршрутизации, под управлением которого функционирует БСС. Поэтому эффективность, адекватность получаемых данных и время жизни БСС напрямую зависит от протокола маршрутизации, который также правильно выбран согласно решаемой задаче мониторинга или контроля параметров внешней среды. Таким образом, разработка алгоритма маршрутизации для целей динамического управления сенсорной сетью является актуальной.

Целью работы является повышение качества работы беспроводных сенсорных сетей за счет разработки алгоритма маршрутизации, учитывающего основные критерии эффективности работы сенсорной сети.

При практической реализации беспроводных сенсорных сетей существует ряд проблем: ограничение по энергопотреблению; проблемы самоуправления; проблемы децентрализованного управления и проблема беспроводного соединения. Все перечисленные проблемы учитываются при разработке алгоритмов маршрутизации БСС.

При разработке алгоритмов маршрутизации используют следующие показатели эффективности работы БСС:

- минимальную задержку при передаче к координатору (выбор координатора)

$$\sum_{i=1}^N \tau_i \rightarrow \min, \quad \sum_{i=1}^M \tau_i \leq T_{\text{сету}}, \quad (1)$$

где τ_i – минимальная задержка при передаче к координатору;

N – общее количество узлов сети;

M – общее количество маршрутов сети;

- максимальная пропускная способность

$$\sum_{i=1}^N C_i \rightarrow \max, \quad \sum_{i=1}^M C_i \leq C_{\text{физ}}, \quad (2)$$

где C_i – пропускная способность при передаче к координатору;

$C_{\text{физ}}$ – пропускная способности радиоканала;

- минимальное энергопотребление

$$\max_i I_i = I_E + (I_R - I_E) \frac{\max M_i}{M} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где I_R – средняя сила тока в узле, находящимся в роли координатора;

I_E – средняя сила тока в узле, находящимся в роли конечного устройства;

M_i – наборы маршрутов, содержащие хотя бы один координатор.

На данное время существуют достаточное количество алгоритмов маршрутизации БСС, формирование метрик которых основано на следующем:

- расстоянии между узлами (MECN, SMECN, GAF);
- формировании кластеров (LEACH, TEEN);
- оценках качества обслуживания (SAR, SPEED [1]).

Однако, все вышеперечисленные алгоритма не могут удовлетворять выражениям (1) – (3) одновременно. Для того, чтобы составить составную метрику переформулируем известные выражения для функций полезности [2]. Функция полезности для пропускной способности будет иметь вид, аналогичный функции пропускной способности для трафика голосовой телефонии. Если для определенного узла сети, уровень пропускной способности достигает максимального, то он перестает работать:

$$u(C) = \frac{\text{sgn}(C - C_{\min}) + 1}{2}, \quad (4)$$

где C_{\min} – минимально допустимая пропускная способность для узла сенсорной сети.

Уровень минимальной задержки при передаче координатору можно оценить, согласно следующему выражению:

$$U(\tau) = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}} - 1\right) \cdot e^{-r \cdot \tau}}, \quad (5)$$

$$r = \frac{2 \ln\left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}} - 1\right)}{\tau_{\max}}, \quad (6)$$

где τ_{\max} – максимально допустимая задержка;

τ_{\min} – значение задержки, в пределах которой сохраняется удовлетворительное качество при передаче к координатору.

Уровень энергопотребления можно также выразить, с помощью функций (5) и (6).

Основываясь на выражениях (4) – (6), составляется метрика, которая и используется для стратегий маршрутизации с учетом ограничений (1) – (3). Данная метрика будет принимать значение «ноль», если хотя бы один из параметров имеет нулевое значение, т.е. данный маршрут будет отброшен по одному из параметров. Такая метрика будет принимать свое максимальное значение «единица», если все параметры отвечают требованиям данной услуги (класса трафика). В более обобщенном виде данную метрику можно записать в виде:

$$(Mc)_{ij} = \left(\prod_{x=1}^N U_x \right)_{ij}, \quad (7)$$

где $(Mc)_{ij}$ – составная метрика для маршрута ij ;

N – количество параметров, которые учитывает составная метрика;

U_x – функция «полезности» от x -го параметра.

Так как необходимо найти минимальную стоимость полученных, согласно (7) метрикам, то составляется соответствующая преобразованная матрица с элементами

$$(f)_{ij} = 1 - (Mc)_{ij}. \quad (8)$$

Это связано с тем, что решается задача о нахождения минимальной метрики, а максимальное значение функций «полезности» равно 1.

Одними из самых известных алгоритмов, используемых для определения маршрута минимальной стоимости, являются алгоритмы Дейкстры, Беллмана-Форда и их модификации. Рассмотрим решение задачи общего вида о нахождении маршрута минимальной стоимости. Пусть для некоторой информационной структуры известны ее

топология и оценки величин параметров поступающего трафика, например, вносимые задержки между каждой парой узлов. Представим эту структуру в виде направленного графа $F(V, E)$ (рис. 1), где V – множество узлов сети, E – множество каналов связи. Каждой дуге $(i, j) \in E$ соответствует ее весовой коэффициент f_{ij} . Необходимо найти такой маршрут, вдоль которого эти коэффициенты минимальны.

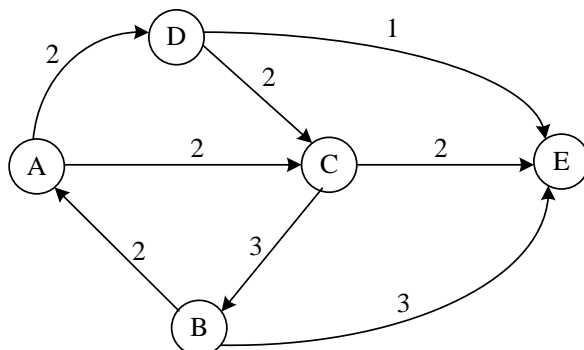


Рисунок 1 – Граф сети

Матрица связности этого графа имеет следующий вид:

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} \infty & \infty & 2 & 2 & \infty \\ 2 & \infty & \infty & \infty & 3 \\ \infty & 3 & \infty & \infty & 2 \\ \infty & \infty & 2 & \infty & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \end{pmatrix}.$$

На основе алгоритма Дейкстры возможно нахождение кратчайшего пути для каждого из узлов, входящих в состав сети. В результате есть следующие маршруты с весами: $F(R_{AB}) = 5$, $F(R_{AC}) = 2$, $F(R_{AD}) = 2$, $F(R_{AE}) = 3$. Аналогичным образом находят минимальные значения для каждого из узлов. $F(R_{BA}) = 2$, $F(R_{BC}) = 4$, $F(R_{BD}) = 4$, $F(R_{BE}) = 3$; $F(R_{CA}) = 5$, $F(R_{CB}) = 3$, $F(R_{CD}) = 7$, $F(R_{CE}) = 2$; $F(R_{DA}) = 7$, $F(R_{DB}) = 5$, $F(R_{DC}) = 2$, $F(R_{DE}) = 1$.

Для удобства, сведем все результаты в матрицу $F(R_{ij})$:

$$F(R_{ij}) = \begin{pmatrix} \infty & \underline{2} & 5 & 7 & \infty \\ 5 & \infty & 3 & 5 & \infty \\ \underline{2} & 4 & \infty & 2 & \infty \\ 2 & 4 & 7 & \infty & \infty \\ 3 & 3 & \underline{2} & \underline{1} & \infty \end{pmatrix}.$$

В матрице $D(R_{ij})$ подчеркнуты минимальные значения весов для каждого из узлов. Аналогичная процедура определена для идемпотентной алгебры. Для нахождения таких маршрутов, вдоль которых их веса будут оптимальными, необходимо решить следующее уравнение, представленное в терминах идемпотентной Min-plus алгебры [3]:

$$\mathbf{F}^+ = \bigoplus_{l \in (n-1)} (\mathbf{F}^l), \quad (8)$$

где \mathbf{F}^l – исходная матрица, размером $n \times n$;
 n – количество узлов в сети;

\oplus' – оператор нахождения минимума в терминах Min-plus алгебры.

Решая поставленную задачу о нахождении маршрута между любой парой узлов с минимальным значением f , расчет элемента i, j матрицы \mathbf{F}^2 можно произвести согласно формуле:

$$f_{ij} = \min(f_{i1} + f_{1j}, f_{i2} + f_{2j}, \dots, f_{in} + f_{nj}). \quad (9)$$

Эти элементы показывают маршруты, состоящие из двух дуг, и указывают на соответствующее значение задержки (минимальное) при их использовании. Соответственно матрица \mathbf{F}^k содержит информацию про задержки вдоль маршрутов, состоящих из k дуг. Таким образом, для определения маршрута между двумя узлами, на который временные затраты будут наименьшими необходимо рассчитать матрицу \mathbf{F}^{n-1} , для сети с n узлами. Для графа заданной топологии необходимо найти матрицы \mathbf{F}^2 , \mathbf{F}^3 и \mathbf{F}^4 , а затем – минимальный, из соответствующих элементов матриц \mathbf{F} , \mathbf{F}^2 , \mathbf{F}^3 и \mathbf{F}^4 , необходимо вычислить матрицу $\mathbf{F}^+ = \mathbf{F} \oplus' \mathbf{F}^2 \oplus' \mathbf{F}^3 \oplus' \mathbf{F}^4$:

$$\mathbf{F}^+ = \begin{pmatrix} \infty & 5 & 2 & 2 & 3 \\ 2 & \infty & 4 & 4 & 3 \\ 5 & 3 & \infty & 7 & 2 \\ 7 & 5 & 2 & \infty & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \end{pmatrix}.$$

Итак, элементы найденной матрицы \mathbf{F}^+ соответствуют минимальным величинам весов, вдоль маршрутов i в узел j .

Предложенный алгоритм маршрутизации на основе использования предложенной методики вычисления кратчайшего пути обладает следующим достоинством: относительной простотой используемых операций над числами, тогда как в алгоритме Дейкстры необходимо «запоминать» все пошаговые значения для полного расчета по всей сети.

Перечень ссылок

1. Махров С.С. Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях: иерархические, основанные на мобильности, мультиориентированные и основанные на гетерогенности // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт, Вып. 5, 2013. – С. 39 – 42
2. Utility-based Bandwidth Allocation for Triple Play Services. Changbin Liu, Lei Shi, Bin Liu. Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, 2009
3. Andersen M. H. Max-plus algebra: properties and applications [Электронный ресурс] / Maria H. Andersen. - Laramie, 2002. – Режим доступа: http://busynessgirl.com/files/pdf/max_plus_algebras_thesis_2002.pdf.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДОСТУПА К ГЛОБАЛЬНЫМ СЕТЯМ ДЛЯ КОМПЛЕКСА МАЛОЭТАЖНОЙ ЗАСТРОЙКИ

Мужецкий Д. Е., студ.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

За последние десятилетия интернет вошел в нашу жизнь полностью, и дома и на работе. Интернет уже воспринимается как совсем обычный ресурс, он необходимый нам каждый день, аналогично электричеству, воде, теплу, сотовой связи. В современных развитых странах Интернет уже полноценной службой, частью нашей жизни. Естественно, что каждый хочет получать информационные потоки в глобальной сети с высокой скоростью доступа и по приемлемым ценам. Но для некоторых граждан качественный канал доступа к сети остается - недостижимой мечтой или же предметом роскоши. Это жители частных домов и малоэтажных зданий

В современном 21-м веке, технологии передачи информации ушли очень далеко, от сигнальных огней до космических спутников, от голубиной почты до смартфонов.

Развитие технологий не прекращает своего хода и движется с укоренным темпом. Ежедневно любой человек на планете использует Интернет. Он общается, радуется, грустит, учится чему-то новому. Каждый день человек получает большие потоки информации, а умение анализировать, использовать и применять такой объем информации, полностью зависит только от человека.

Фраза, принадлежащая Натану Ротшильду, гласит: "Кто владеет информацией, тот владеет миром". Основатель величайшей банковской династии, человек, который благодаря информационной оперативности, всего за один день смог заработать свыше 40 миллионов фунтов стерлингов и занять значительную долю экономики Британии.

Для жителей многоэтажных домов выбор подключения к Интернету более чем широкий, но с частным сектором ситуация совсем другая. Дело в том, что ни один из провайдеров не считает экономически целесообразным вкладывать свои ресурсы и инвестировать в создание сетевой инфраструктуры частного сектора. Они объясняют это сложностью прокладки кабеля и размещения промежуточного коммутирующего оборудования, большой протяженностью линий, низкой территориальной плотностью потенциальных клиентов, а также их низкой информационной культурой.

Проводной канал или в принципе невозможно провести к жителям малоэтажных застроек или его стоимость просто «неподъемна» для частных клиентов.

Провайдерам гораздо проще и выгоднее подключать многоэтажные дома, которые требуют меньше накладных затрат и быстро принесут прибыль. В категорию «неперспективных» попадают не только одноэтажные, но и трехэтажные дома послевоенных построек, где количество квартир относительно невелико. На практике наблюдаем ситуацию, когда в многоэтажном доме присутствуют несколько кабельных операторов, а в малоэтажных домах ни одного.

Единичные случаи подключения одного или нескольких малоэтажных домов, расположенных рядом — это скорее исключение из правил, так как стоимость подключения достаточно высока.

Взваливать всю вину на проводных операторов было бы неправильным. Внутренняя политика государства играет негативную роль в сфере Интернет. В современных развитых европейских странах, специально выделяют средства и объявляет конкурсы среди провайдеров на реализацию проектов по созданию Интернет-каналов.

Для примера, в Италии в провинции Брешиа был реализован проект по строительству полносвязной IP-сети по воздуху.

Компания Cisco Systems выступила поставщиком оборудования и собственно

исполнителем проекта, на территории площадью 4 800 квадратных километров была создана беспроводная сеть, охватившая более 200 населенных пунктов, а в горной местности малые села. Выход в глобальную сеть стал возможен не только частным клиентам, но также и муниципальным учреждениям, органам местной власти и предприятиям.

Проект стоимостью 2 млн. евро помог снизить безработицу, налоговые поступления увеличились, а предприятия малого и среднего бизнеса увеличили свою продуктивность. В настоящее время известны следующие способы доступа в Интернет:

- Доступ в Интернет по выделенным линиям. Для подключения компьютера пользователя к Интернет в квартиру подводится отдельный кабель (витая пара или оптоволокно).

- ISDN - коммутируемый доступ по цифровой телефонной сети. Главная особенность использования ISDN — это высокая скорость передачи информации, по сравнению с Dial-Up доступом. Скорость передачи данных составляет 64 Кбит/с при использовании одного и 128 Кбит/с, при использовании двух каналов связи.

- Спутниковый доступ в Интернет или спутниковый Интернет. Спутниковый доступ в Интернет бывает двух видов – асимметричный, обмен данными компьютера пользователя со спутником двухсторонний, и симметричный, запросы от пользователя передаются на сервер спутникового оператора через любое доступное наземное подключение, а сервер передает данные пользователю со спутника. Максимальная скорость приема данных до 52,5 Мбит/с (реальная средняя скорость до 3 Мбит/с).

- Беспроводные технологии, это Wi-Fi, WiMax, и мобильный интернет.

Провода — это пережитки прошлого, от них уже давно пора отказаться. Но они, все продолжают путаться у нас под ногами, как и сорок лет тому назад,

Проблем в выборе беспроводного подключения к Глобальной сети - нет. Обилие сотовых операторов должно помочь человеку, покупающему 3G/4G – модем, доступ в Интернет не только из любой точки города, но и соответствующим качеством. На практике, все не так оптимистично. Получается, что сотовые операторы, также, как и любые бизнесмены, хотят снизить свои капитальные затраты, но и выжать максимум прибыли.

И складывается такая ситуация, что, когда существующие станции работают на максимуме своих возможностей, а приоритет связи, не интернет-трафик, а голосовой канал. Это и приводит к таким явлениям, как падение скорости мобильного Интернета, особенно в те часы, когда активность абонентов повышена (обычно вечернее время), исчезновение связи, увеличенный ping и т.д.

Следовательно, теоретически подключение к Интернету есть, а на практике – его качество не позволяет нормально работать в сети. Однако если сотовый оператор оказывает услуги только Интернета, это означает, что канал цифровой передачи является приоритетным.

Оператор использует технологию WiMAX или LTE, что в теории позволяет покрывать территорию целого микрорайона, а также и территорию частного сектора, не только быстрым, но и устойчивым Интернет-соединением.

Технология WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) — это телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов).

Технология LTE (англ. Long-Term Evolution) – это величайший шаг, в получении информации для конечного пользователя. 4G-сети предоставляют абонентам широкополосный доступ к интернету, а это в свою очередь означает, что пользоваться сетью без «просадок» скорости доступа сможет большее количество людей.

Технология LTE позволяет добиться скорости приема в 1 Гбит/сек. Реальная скорость передачи данных значительно ниже и составляет около 10 – 30 Мбит/сек.

Теория очень часто расходится с практикой. В отдельных микрорайонах действительно сеть может давать хорошую и стабильную связь со скоростью до 10 Мбит/сек, что вполне

достаточно для комфортной работы в Интернете. Но также, следует отметить, что в некоторых микрорайонах, предоставляемый Интернет может быть нестабилен и недостаточно быстр (менее 2 Мбит/сек). А это уже не позволяет общаться через сервисы видео и голосового общения, просматривать фильмы в режиме онлайн.

Обнаруживается влияние недостаточной мощности передатчиков на базовой станции, диаграммы направленности антенн, рельеф местности, физические препятствия – такие как, высотные здания. В условиях города качество связи можно охарактеризовать в лучшем случае как «удовлетворительное», но обычно «плохое».

Современные технологии оборудования Wi-Fi, позволяют передавать цифровой сигнал от источника до приемника на расстояние в несколько километров.

Термин Wi-Fi был введен Wi-Fi Альянсом («Wireless Ethernet Compatibility Alliance» - WECA). Термин изначально звучал как «IEEE 802.11b-совместимые», но в Wi-Fi Альянс, приняли решение, что такое название слишком сложное и длинное для запоминания. Wi-Fi не расшифровывался, он имел лишь созвучное с Hi-Fi название. Позже Wi-Fi начал расшифровываться как Wireless Fidelity – в переводе, беспроводная точность.

Преимущества таковы: затраты на оборудование - низкие (гораздо ниже, чем строительство базовых станции 4G), качество канала, быстрота построения беспроводного канала. Скорость сопоставима с проводной выделенной линией.

Проводя анализ вышеописанных методов подключения к Глобальной сети Интернет можно заключить, что для жителей частных домов и малоэтажных застроек все из существующих методов не позволяют организовать надежный, высокоскоростной и недорогой канал. Но существует одна технология, которая может решить эту проблему.

Беспроводные сети Wi-Fi. На этой технологии можно очень быстро создать беспроводные каналы от провайдеров кабельного интернета к частному дому. В городах обычно, частный сектор расположен рядом с высокоэтажными домами, в которых уже есть проводной интернет.

Выходит, есть возможность установить на многоэтажном доме мощную активную уличную антенну Wi-Fi – с углом раскрытия диаграммы 120-180 градусов, направленную на частный сектор. И в каждом частном доме устанавливается приемное устройство, которое сможет принимать излучаемый сигнал.

Таким образом, будет создан Wi-Fi радиоканал «один ко многим»

Перечень ссылок

1. Беспроводные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспроводные_технологии
2. Киренберг А.Г. Проблема подключения к интернету малоэтажного жилого сектора и возможный способ ее решения [Текст] / А.Г. Киренберг, О.М. Колесников // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (107). – С. 84–87.
3. Радке, Хорст-Дитер Все о беспроводных сетях / Хорст-Дитер Радке , Йеремиас Радке. - М.: НТ Пресс, 2011. - 320 с.
4. Шубин, В. И. Беспроводные сети передачи данных / В.И. Шубин, О.С. Красильникова. - М.: Вузовская книга, 2013. - 104 с.
5. Лиэри Дж, Рошан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 М.: Издательский дом "Вильямс", 2004, 304 с

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ СЕТИ LTE ДЛЯ УСЛОВИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ Г. ДОНЕЦКА

Остапенко М.А., магистрант; Червинский В.В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В сетях 4G подход к планированию сети отличается от старого подхода сетей 2G и 3G по размещению мощных базовых станций с большой зоной покрытия. Соответственно этому подходу операторы сотовой связи четвертого поколения должны увеличивать плотность размещения базовых станций (БС) и повышать спектральную эффективность при помощи МИМО (Multiple Input Multiple Output) и других технологий. Однако возможность развертывания новых базовых станций довольно скоро достигает предела из-за переиспользования частот и дороговизны, и их установка станет нецелесообразной в крупных городах [1].

В сети 4G для обеспечения требуемого уровня SNR, конечные точки радиосвязи должны быть близки друг к другу. Кроме того, люди, как правило, собираются в таких местах, как торговые центры, аэропорты и тому подобное, и используют свои 4G-устройства. Характер такого использования в сочетании с высокой плотностью населения в таких местах требует другой стратегии развертывания. Все эти условия для высокоскоростных беспроводных сетей требуют гетерогенной стратегии развертывания с использованием сот меньшего размера с низким энергопотреблением, размещенных в стратегических точках, для увеличения покрытия и качества связи мобильных макросетей. Такая стратегия называется HetNet или гетерогенная сеть, в которой несколько типов сот совместно развертываются для обеспечения хорошего высокоскоростного беспроводного доступа.

Гетерогенная сетевая архитектура (HetNet) с множеством частотных диапазонов, использованием различных технологий радиодоступа и базовых станций с различной величиной зон покрытия, является концепцией развития сетей сотовой связи LTE в том числе и для условий центральной части г. Донецка. Поэтому, анализ возможностей развертывания такой сети, а также исследование особенностей ее функционирования с целью оптимизации ее работы является в настоящее время актуальной задачей для оператора сотовой связи г. Донецка.

В качестве объекта исследования рассматривается часть города Донецка, которую обслуживает одна макро базовая станция и гипотетически предполагается развертывание шести микро базовых станций.

Рассмотрим основные тенденции развития LTE Hetnet сотовой сети для условий г. Донецка.

Технология LTE может работать на частотах от 450 МГц до 5 ГГц, LTE Advanced может объединять в один канал несколько диапазонов.

Всего существует 70 так называемых "бэндов" (Band) LTE. На территории Донецка могут теоретически использоваться 5 Band'ов [2]:

- 3 (диапазон 1800 МГц FDD);
- 7 (диапазон 2600 МГц FDD);
- 20 (диапазон 800 МГц FDD);
- 31 (диапазон 450 МГц FDD);
- 38 (диапазон 2600 МГц TDD).

Как правило, чем ниже частота, тем выше расстояние и лучше прохождение сигнала через городскую застройку, но меньше емкость сети и скорость передачи данных.

Band 31 используется в малонаселенных районах с плохим покрытием других сотовых сетей. Радиус действия LTE-450 до 20 км, что в 5-6 раз больше, чем у стандарта LTE-2600.

Чем выше активность и плотность населения, тем выше требования по частоте для обеспечения высокой емкости и скорости ПД. В деловых центрах крупных городов, в местах с высокой активностью используются band'ы 3, 7 и 38. В регионах с более низкой активностью и плотностью населения используется Band 20, так как можно покрыть большой радиус (до 13,4 км) с хорошим проникновением в дома, при этом скорость ПД достаточна, так как меньше пользователей LTE.

В настоящее время на территории Донецка основным является Band 20 диапазона 800 МГц FDD. Однако, концепция развития сотовой сети связи стандарта LTE Hetnet для условий центра г. Донецка предусматривает использование диапазона частот 1800 МГц 3 Band для макро базовых станций и диапазона частот 2600 МГц FDD 7 Band для микро базовых станций.

Исследование сети проводится для центральной части г. Донецка. Плотность населения здесь составляет около 9400 человек на 1 км² [3].

Количество потенциальных абонентов прогнозируем как 20% от общего числа жителей, то есть 1880 пользователей на 1 км².

Среднее значение трафика на одного абонента в час наибольшей нагрузки (ЧНН) [4]:

$$R_t = \frac{T_a \cdot 2,2}{N_{Hours} \cdot N_{Days}} \quad (1)$$

где T_a - средний трафик одного абонента в месяц, примем $T_a = 30$ Гбайт/мес;

q - коэффициент для городской местности, $q = 2,2$;

N_{Hours} - число ЧНН в день, $N_{Hours} = 8$;

N_{Days} - число дней в месяце, $N_{Days} = 30$.

В итоге получаем:

$$R_t = 0,275 \text{ Мбит/с.}$$

Среднее значение трафика от БС к абоненту (Downlink - «вниз») в ЧНН:

$$T_{DL} = R_t \cdot S_{DL}, \quad (2)$$

где S_{DL} - доля трафика Downlink, $S_{DL} = 70\%$.

Среднее значение трафика от абонента к БС (Uplink - «вверх») в ЧНН [4]:

$$T_{UL} = R_t \cdot S_{UL}, \quad (3)$$

где S_{UL} - доля трафика Uplink, $S_{UL} = 30\%$.

В итоге получаем:

$$T_{DL} = 0,193 \text{ Мбит/с, } T_{UL} = 0,083 \text{ Мбит/с.}$$

Предполагаемый диапазон частот для макро базовых станций для линии «вверх» (Uplink) составляет 1710-1785 МГц, для линии «вниз» (Downlink) – 1805-1880 МГц. Ширина частотного спектра равна 75 МГц. Каждому сектору (всего 3) базовой станции eNB выделяется по 20 МГц с учетом защитных частотных полос для неперекрывания сигналов разных секторов.

Емкость (пропускная способность) сети LTE оценивается на основе средних значений спектральной эффективности сот.

Спектральная эффективность представляет собой отношение скорости передачи данных в бит/с на 1 Гц используемой полосы частот (бит/с/Гц). Этот параметр характеризует скорость передачи данных в заданной полосе частот.

Для макросот центральной части г. Донецка в полосе 20 МГц в канале «вниз» передача ведется по схеме MIMO 4x4 в режиме пространственного мультиплексирования, что дает среднюю спектральную эффективность 2,67 бит/с/Гц; канале Uplink - 1 x 4 со средней спектральной эффективностью 1,103 бит/с/Гц

Примем, что распределение абонентов в зоне обслуживания равномерное.

Средняя пропускная способность одного сектора макро базовой станции рассчитывается путем умножения ширины канала на спектральную эффективность канала [4]:

$$R = S \cdot W, \quad (4)$$

где S – средняя спектральная эффективность, бит/с/Гц;

W – ширина канала, МГц.

Для линии Downlink («вниз») получаем:

$$R_{DL} = 2,67 \cdot 20 = 53,4 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL («вверх»):

$$R_{UL} = 1,103 \cdot 20 = 22,1 \text{ Мбит/с.}$$

Средняя пропускная способность eNB базовой станции R_{eNB} равна пропускной способности одного сектора помноженной на количество секторов eNB. Поскольку число секторов eNB равно 3, получаем:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \cdot 3, \quad (5)$$

Откуда $R_{eNB} = (53,4 + 22,1) \cdot 3 = 226,5 \text{ Мбит/с.}$

Для линии Downlink («вниз»):

$$R_{eNB.DL} = 53,4 \cdot 3 = 160,2 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL («вверх»):

$$R_{eNB.UL} = 22,1 \cdot 3 = 66,3 \text{ Мбит/с.}$$

Для расчета радиуса соты необходимо определить общее число каналов, выделяемых для развертывания сети LTE.

Весь канальный ресурс разбит на так называемые ресурсные блоки (РБ). Один РБ включает 12 расположенных рядом поднесущих частот, занимающих частотную полосу 180 кГц.

Общее число каналов рассчитывается по формуле:

$$N_k = \left[\frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_k} \right] \quad (6)$$

где Δf_{Σ} – полоса частот работы сети, $\Delta f_{\Sigma} = 120 \text{ МГц}$;

Δf_k – полоса частот одного радиоканала (ресурсного блока), $\Delta f_k = 180 \text{ кГц}$.

Получаем:

$$N_k = \left[\frac{120000}{180} \right] = 667 \text{ каналов.}$$

Число каналов $N_{k.sec}$, необходимое для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты:

$$N_{k.sec} = \left[\frac{N_k}{N_{cl} \cdot M_{sec}} \right] \quad (7)$$

где N_k – общее число каналов;

N_{cl} – размерность кластера, с учетом количества секторов eNB, $N_{cl} = 3$;

M_{sec} – количество секторов eNB, $M_{sec} = 3$.

$$N_{k.sec} = \left[\frac{667}{3 \cdot 3} \right] = 74$$

Число каналов трафика в одном секторе одной соты рассчитывается по формуле:

$$N_{kt.sec} = N_{kt1} \cdot N_{k.sec} \quad (8)$$

где N_{kt1} – число каналов трафика в одном радиоканале, определяемое стандартом радиодоступа (для OFDMA $N_{kt1} = 1...3$), для LTE $N_{kt1} = 1$.

Получаем:

$$N_{kt.sec} = 1 \cdot 74 = 74 \text{ канала.}$$

Согласно модели первой формулы Эрланга, позволяющий определить допустимую нагрузку в секторе одной соты A_{sec} при заданных вероятности блокировки 1% и рассчитанном значении $N_{kt.sec}$.

Получаем $A_{sec} = 62,2$ Эрл.

Число абонентов, обслуживаемое одной eNB, определяется по формуле:

$$N_{\text{аб.}eNB} = M_{\text{sec}} \cdot \left[\frac{A_{\text{sec}}}{A_I} \right] \quad (9)$$

где A_I – средняя абонентская нагрузка от одного абонента по всем видам трафика.

Значение A_I может колебаться в диапазоне 0,04...0,2 Эрл. Для активных пользователей центра г. Донецка и высокоскоростного обмена данными, примем $A_I = 0,2$ Эрл. Таким образом:

$$N_{\text{аб.}eNB} = 3 \cdot \left[\frac{62,2}{0,2} \right] = 933 \text{ абонентов.}$$

Для проверки правильности расчетов оценим суммарный трафик от абонентов соты в ЧНН следующим образом:

Определим общий трафик проектируемой сети в ЧНН Робщ./ЧНН по формуле:

$$R_{\Sigma.eNB} = R_I \cdot N_{\text{аб.}eNB} \quad (10)$$

где $N_{\text{акт.аб}}$ - число активных абонентов в соте, зададим как 80% от общего числа потенциальных абонентов соты, $N_{\text{акт.аб}} = 747$ абонентов.

В итоге получаем:

$$R_{\Sigma.eNB} = 0,275 \cdot 747 = 205,5 \text{ Мбит/с/}$$

То есть, $R_{\Sigma.eNB} < R_{eNB} = 226,5$ Мбит/с, что говорит о том, сеть не будет подвергаться перегрузкам в ЧНН.

При количестве пользователей 1880 на 1 км², площадь покрытия одной макросоты будет оставлять $S_{\text{macro.eNB}} = 933 / 1880 = 0,496$ км², что определяет радиус макросоты $r_{\text{macro.eNB}} = 0,398$ км.

Однако, теоретический радиус макросоты может достигать 13,4 км. Чтобы увеличить радиус макросоты для условий центральной части г. Донецка, предполагается развертывание гетерогенной сети LTE Hetnet. В этом случае в зону действия макросоты добавляются несколько микросот, которые принимают на себя обслуживание части абонентов, находящихся в зоне действия макросоты. Для этого выделяется band 7 диапазона 2600 МГц FDD, а именно: частоты от 2510 до 2530 МГц для канала uplink и частоты от 2630 до 2650 МГц для канала downlink.

Проведя расчеты согласно формулам (2.1) – (2.10), получаем число абонентов, обслуживаемое одной микро eNB, равно $N_{\text{аб.}eNB} = 296$.

Таким образом, макросота может быть разгружена переводом части абонентов на обслуживание ближайшей микросотой. Например, размещение в одной макросоте шести микросот позволит увеличить емкость макросоты на $6 \cdot 296 = 1776$ абонентов и составит 2709 абонентов. При количестве пользователей 1880 на 1 км², площадь покрытия одной макросоты будет оставлять $S_{\text{macro.eNB}} = 2709 / 1880 = 1,44$ км², что определяет радиус макросоты $r_{\text{macro.eNB}} = 0,677$ км.

В качестве примера на рис. 2 приведена карта центральной части г. Донецка с предполагаемым расположением на ней одной макро соты и шести микро сот для обслуживания территории, ограниченной пр. 75-летия ФК «Шахтер», ул. Генерала Антонова и ул. Щорса.

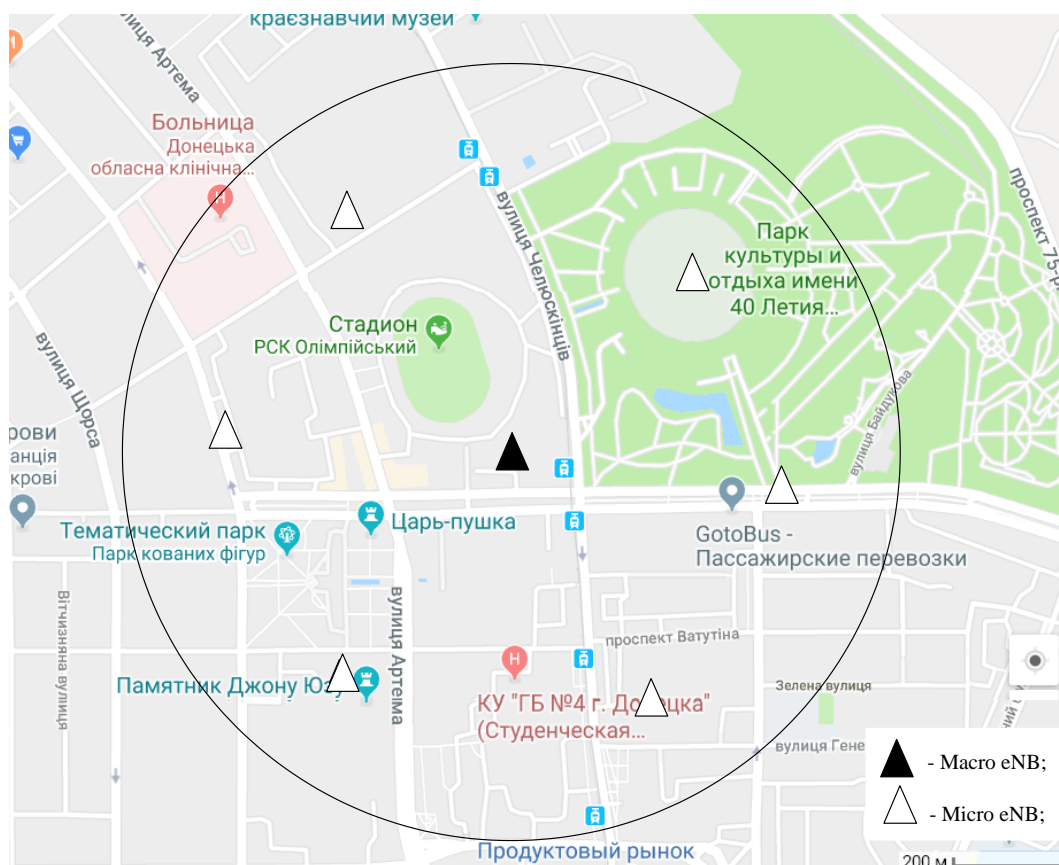


Рисунок 1 – Карта части г. Донецка с предполагаемым расположением одной макро и шести микро сот

Для дальнейшего анализа сети отметим, что базовая станция макросоты может передавать сигнал максимум 46 дБм. Базовые станции микросот работают на частотной полосе 2600 МГц и передают сигнал на 30 дБм. Дальнейшее исследование перспективной гетерогенной сети LTE для условий центральной части г. Донецка предполагает моделирование работы сети при использовании различных методов выбора сот пользовательским оборудованием UE, таких как:

- метод выбора сот по расстоянию;
- метод выбора сот по уровню сигнал/шум;
- метод выбора сот по полосе пропускания;
- метод выбора сот по энергосбережению.

Целью этого исследования является определение возможностей по снижению энергопотребления сотовой сетью LTE в масштабах города.

Перечень ссылок

1. Гетерогенные сети: ключевые технологии HetNet и сценарии развертывания. [Электронный ресурс]. URL: <http://1234g.ru/4g/lte/struktury-setej-lte/geterogennye-seti-klyuchevye-tekhnologii-hetnet-i-stsenarii-razvertyvaniya> (дата обращения: 04.12.2018).
2. Boiardi S. Radio planning and management of energy-efficient wireless access networks . [Электронный ресурс]. URL https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/99707/1/2014_07_PhD_Boiardi.pdf (дата обращения: 04.12.2018).
3. Донецк. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. URL <https://ru.wikipedia.org/wiki/Донецк>(дата обращения: 04.02.2019).
4. Соколов Н. Оценка параметров зоны обслуживания сети LTE. Часть 2 (Исправленная). [Электронный ресурс]. URL <http://omoled.ru/publications/view/737> (дата обращения: 04.02.2019).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ АБОНЕНТОВ

Санжиев И.С., студ.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Существует много объектов с высокой концентрацией абонентов, где невозможно обойтись без беспроводных сетей. Такие, беспроводные сети позволяют достичь определенных преимуществ по сравнению с проводными сетями:

- отсутствие проводов;
- минимум строительно-монтажных работ;
- высокая скорость;
- дешевизна установки и владения;
- гибкость в построении;
- реконфигурация и масштабируемость;
- совместимость с многими устройствами.

В повседневной жизни в местах большого скопления людей большее использование получил тип беспроводной сети: Wi-Fi на основе технологии IEEE 802.11 [1].

Из всех стандартов такой технологии передачи данных IEEE 802.11, на практике наиболее часто используются четыре, это: 802.11a, 802.11b, 802.11g и 802.11n.

В стандарте IEEE 802.11b скорость передачи данных до 11 Мбит/с, работает в диапазоне 2,4 ГГц, этот стандарт популярен у производителей оборудования для беспроводных сетей. Поскольку оборудование, работающее на максимальной скорости - 11 Мбит/с, имеет радиус действия меньше, чем на более низких скоростях, то стандартом 802.11b было предусмотрена возможность автоматического понижения скорости при ухудшении качества сигнала.

Стандарт IEEE 802.11g является развитием 802.11b и работает в том же частотном диапазоне. Кроме этого, стандарт 802.11g совместим с 802.11b, таким образом любое устройство 802.11g имеет возможность поддерживать работу с устройствами 802.11b. Максимальная скорость передачи в стандарте 802.11g - 54 Мбит/с, это на сегодняшний день это наиболее перспективный стандарт беспроводной связи.

Стандарт 802.11n повышает скорость передачи данных практически, а четыре раза, по сравнению с устройствами стандартов 802.11g (максимальная скорость которых равна 54 Мбит/с). Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 480 Мбит/с. Устройства 802.11n работают в диапазонах 2,4 — 2,5 или 5,0 ГГц.

Проблемами беспроводных сети всегда остаются:

- ограниченность дальности связи;
- резкое падение пропускной способности сети при увеличении количества абонентов.

В данной статье будут рассматриваться метод по решению проблемы связанных с пропускной способностью беспроводной сети в местах с большой концентрацией абонентов.

Несоответствие необходимой пропускной способности беспроводной сети и растущий трафик пользователей приводит к ухудшению характеристик сети и недовольству пользователей, и ошибочным выводам о том, что сеть Wi-Fi не может работать с большой нагрузкой. Однако, есть простые принципы проектирования, которые позволяют обеспечить достаточную пропускную способность сети Wi-Fi для работы с тысячами пользователей в одном месте, как показывают примеры удачных проектов.

Основными требованиями к проектируемой беспроводной сети являются:

- тип передаваемых данных (передача данных, голоса или позиционирование);
- плотность пользователей;

- требования к покрытию;
- особенности клиентских устройств (мощности передатчика, поддерживаемые диапазоны и каналы, поддерживаемые скорости передачи данных);
- требования к безопасности сети.

В зависимости от того какие типы данных, будут передаваться по сети, необходимо поставить требование к средней пропускной способности каналов связи и диапазону передатчика, которые будут использоваться в сети. Средняя пропускная способность канала передачи данных зависит от требований качества обслуживания и является трудной задачей.

Необходимое и достаточное количество абонентов, которые могут подключиться к одной точке доступа, ставит требование к мощности передатчика и распределения частотных каналов. Чем ниже мощность передатчика, тем меньше скорость передачи данных по каналу и тем меньше можно подключить абонентов к этой точке доступа. Оптимальное количество абонентов обычно колеблется от 13 до 18.

Безопасность беспроводных сетей зависит от использования различных технологий, таких как метод шифрования, цифровой подписи, паролей и прочего. То, каким образом используются эти технологии, влияет на уровень защищенности беспроводной сети. Вопросам безопасности беспроводных сетей посвящено большое количество исследований и данное исследование его не затрагивает.

Основной проблемой при проектировании беспроводных сетей доступа или их расширении является не перекрытие частот соседних точек доступа для того чтобы не допустить появления взаимных помех и снижения скорости передачи. Обычно это решается настройкой соседних точек на неперекрывающиеся по частоте каналы.

Как правило, для правильного планирования месторасположения точек доступа сперва нужно исследовать функциональные зависимости следующих величин:

- диапазон;
- используемые каналы выбранного диапазона;
- мощность передатчика;
- тип и коэффициент усиления антенны;
- разрешенные скорости передачи данных.

Выявить зависимости перечисленных выше величин достаточно трудно, то на практике часто используют расчетные методики определения месторасположения точек доступа. К таким методикам относятся статистические модели (требуют только общего описания типа здания), а также одно - или многолучевые модели (оценивают уровень принимаемого сигнала и основаны на учете потерь на всех препятствиях на пути прохождения сигнала).

Основная задача — это повышение эффективности управления беспроводными сетями передачи данных, в нашем случае с помощью технологии Wi-Fi, с использованием интеллектуальных методов [2].

Математическим аппаратом, выбранный для исследований, являются нейронная сеть, из-за её возможного применения в прогнозировании результата. Способности такой сети к прогнозированию следуют из способности к обобщению и выделению «невидимых» зависимостей между входными и выходными данными, которые человек мог упустить или опустить из-за трудности решения задачи. После обучения нейронная сеть способна «предвидеть» будущее значение некой последовательности на основе нескольких предыдущих значений и/или каких-то существующих в настоящий момент факторов. Так же следует запомнить, что прогнозирование возможно только тогда, когда предыдущие изменения в какой-то степени определяют будущие. Рассмотрим возможную модель. Для начала следует выделить какие будут входные данные, и какие будут выходные данные по этим входным переменным. Для процесса прогнозирования собирается статистика о количестве устройств приема находящиеся в пределах зоны одного передатчика и уровнях мощности сигнала, статистических параметрах трафика (таких как – данные, голос, видео, объемы передаваемых данных и т. д.). Этот процесс не требует вмешательства дополнительного оборудования, подключаемого к мобильным устройствам, т. к. уровни

мощности сигнала могут быть измерены при помощи встроенных устройств беспроводной связи. Так же необходимо учитывать возможные помехи, которые создают устройства друг для друга. На основе собранных данных следует процесс обучения нейронной сети, которая должна прогнозировать уровни мощности объектов и возможные оптимальные настройки точек доступа в сети.

Наиболее подходящей нейронной сетью для прогнозирования таких результатов служит рекуррентная нейронная сеть. Это наиболее сложный вид нейронных сетей, в которых имеется обратная связь [3] (под обратной связью подразумевается связь от логически более удалённого элемента к менее удалённому). Наличие обратных связей позволяет запоминать и воспроизводить целые последовательности реакций на один стимул. С точки зрения программирования в таких сетях появляется аналог циклического выполнения, а с точки зрения систем такая сеть эквивалентна конечному автомату.

Вышеописанный алгоритм позволяет построить возможную модель прогноза передачи данных в сети и уровней их сигнала для изменения таблиц маршрутизации, что дает возможность повысить эффективность управления беспроводными сетями, заранее отреагировать на изменение структуры сети и обеспечить полосу пропускания трафика с наименьшими потерями и задержками к критическим видам трафика.

Перечень ссылок

1. Беспроводные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспроводные_технологии

2. Семейкин В. Д., Скупченко А. В. Разработка нейросетевых алгоритмов для управления и контроля сетями передачи данных // Междунар. отраслевая науч. конф. проф.-преп. состава АГТУ, посвященная 80-летию основания АГТУ: тез. докл. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. – Т. I. – С. 245.

3. Семейкин В. Д., Скупченко А. В. Применение нейросетевых моделей в телекоммуникационных системах // Международный форум информатизации (МФИ-2007): тр. конф. «Телекоммуникационные и вычислительные системы». – М.: МТУСИ, 2007. – С. 36–37.

4. Kaaniche H., Kamoun F. Mobility Prediction in Wireless Ad Hoc Networks using Neural Networks // Journal of telecommunications. – 2010. – Vol. 2, ISSUE 1. – P. 95–101.

УДК 622.4

УВЕЛИЧЕНИЕ ИСКРБЕЗОПАСНОЙ МОЩНОСТИ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВ ИСКРОЗАЩИТЫ

Крыгин Д.А., магистрант; Лаппо П.В., доц., к.т.н., Ткаченко А.Е., доц., к.т.н.
(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Горные предприятия являются основой энергетической независимости нашего региона. От их безаварийной и непрерывной работы зависит функционирование других предприятий тяжелой и легкой промышленности, а также жилищно-коммунального сектора, поскольку уголь является основным регионарным топливом, а также исходным сырьем для технологических процессов металлургической отрасли.

Спецификой горно-геологических условий шахт Донбасса является их высокая категоричность по метановыделению, а также по опасности взрыва угольной пыли. В таких технологических условиях неотъемлемым требованием к конструкции любого электротехнического оборудования (силовой преобразовательной техники, коммутационной аппаратуры, аппаратуры шахтной автоматики, датчики и т.п.) является наличие искробезопасных входных и выходных коммутационных цепей.

Исследования показывают, что обеспечение искробезопасности цепей переменного тока повышенного напряжения связано с выделением на источнике коммутационного сигнала, достаточного для срабатывания искрозащиты, что в свою очередь приводит к снижению коэффициента использования искробезопасной мощности и КПД. Таким образом, обеспечивать искробезопасную мощность сети возможно, как путем увеличения сигнала, возникающего при коммутации, так и путем повышения чувствительности устройства искрозащиты. В данной статье будем исследовать второй способ, который удобно применять для шахтных сетей переменного тока.

Так, установлено, что использование устройства сокращения длительности разряда (УСДР) позволяет увеличить искробезопасную мощность цепи [1]. Кроме того, необходимо выполнение требований по взрывозащите корпусов блоков разрабатываемой аппаратуры и искробезопасности выходных и входных цепей. Однако, в этом случае возрастают требования к предельно-допустимым параметрам полупроводниковых приборов, используемых в устройстве искрозащиты, а также к их быстродействию [2]. Известно, что с повышением чувствительности полупроводникового прибора, например, тиристора или транзистора, снижаются его предельно-допустимые параметры: ток и рассеиваемая мощность [3, 4]. Поэтому применяя в схемах искрозащиты необходимые по чувствительности приборы, приходится занижать реализуемую в нагрузке искробезопасную мощность.

Однако у большинства полупроводниковых приборов предельно допустимый импульсный ток на порядок и более превосходит допустимую величину протекающего через них постоянного тока. Установлено, что большинство низкочастотных транзисторов МП42 не разрушается при импульсах токов базы 1-8 А и коллекторов 1-3 А при длительности 2,5 мкс, а высокочастотные транзисторы типа ГТ3008 выдерживают соответственно 0,1 – 0,6 А и 0,4 –

1,2 А при длительностях до 0,5 мс [4]. У тиристоров типа КУ201 максимально допустимая амплитуда импульса анодного тока при его длительности 100 мкс в установившемся периодическом режиме с частотой 50 Гц составляет соответственно 38 А и 18 А при температуре корпуса тиристора 20⁰С и 70⁰С. При одиночных импульсах амплитуда тока возрастает соответственно до 145 А и 80 А (при времени остывания корпуса, стремящемся к нулю) [1]. Для тиристора типа КУ110, предельно-допустимый постоянный ток которого составляет 0,3 А, анодный ток возрастает до 0,6 А при длительности импульса $\tau_n \leq 1$ мкс.

Возможность пропускания сравнительно больших токов через чувствительные полупроводниковые элементы за короткое время можно использовать для усиления входного сигнала мощных полупроводниковых приборов. В этом случае необходимо, чтобы время включения последних не превышало допустимого времени протекания тока через чувствительный элемент. Таким образом, в начальный момент коммутации включается чувствительный элемент и шунтирует источник питания. Одновременно с началом шунтирования подается усиленный сигнал на дополнительный силовой полупроводниковый прибор. Последний включается и шунтирует чувствительный элемент, прекращая протекание в нем тока, переключая на себя ток источника.

На рис.1 изображена принципиальная и эквивалентная схемы устройства, реализующего предлагаемый способ обеспечения искробезопасности электрических цепей повышенной мощности. Устройство работает следующим образом. При подключении нагрузки на R_n на формирователь знакопеременного сигнала поступает напряжение источника питания GB . Формирователь F с трансформатором TV представляет собой полупроводниковый инвертор, обеспечивающей в цепи нагрузки необходимый уровень мощности и напряжения переменного тока.

В начальный момент коммутации срабатывает один из чувствительных тиристоров $VS2$ или $VS3$ и шунтирует вторичную обмотку трансформатора TV . В цепи источника постоянного тока GB возрастает ток, и срабатывает дополнительный силовой тиристор $VS1$, который отключает инвертор F от источника питания GB . Цепь нагрузки R_n и тиристора $VS2$ или $VS3$ при этом обесточиваются. Однако выбор параметров устройства необходимо производить в учетом возникающего при этом переходного процесса.

Для этого рассмотрим эквивалентную схему устройства, изображенную на рис.2, б, в момент включения одного из чувствительных тиристор (ключ K).

В начальный момент (при $t \rightarrow 0$) в цепи протекает установившейся ток:

$$i_{ycm} = \frac{E}{R1 + R2 + R_n} \quad (1)$$

Запишем дифференциальное уравнение в операторной форме:

$$E = i(p)(R1 + R2) + Lp(i(p) - i_{ycm}). \quad (2)$$

Подставим в уравнение (2) значение установившегося тока и найдем выражение переходного тока:

$$i(e) = E \frac{1 - R_n \exp[-(R1 + R2)t/L]}{R1 + R2 + R_n} \quad (3)$$

Напряжение на измерительном резисторе $R2$ определяется из следующего уравнения:

$$U_{yup} = E \cdot R2 \frac{1 - R_n \exp[-(R1 + R2)t/L]}{R1 + R2 + R_n} \quad (4)$$

Когда напряжение на измерительном резисторе $R2$ достигнет или превысит напряжение

включения силового тиристора $VS1$, то будет выполнено условие:

$$U_{упр} \geq U_{вкл}, \quad (5)$$

последний включится, зашунтировав источник постоянного тока через ограничительный резистор $R1$ и обесточит чувствительный тиристор $VS2$ (или $VS3$). Подставив значение $U_{упр}$ из выражения (5) в уравнение (4), запишем его в следующем виде:

$$\exp[-(R1 + R2)t / L] = (R1 + R2 + R_H) \left(\frac{1 - U_{вкл}(R1 + R2)}{E \cdot R2} \right) R_H \quad (6)$$

Отсюда определим время переходного процесса:

$$t = -L \ln \frac{\left(\frac{1 + R1 + R2}{R_H} \right) \left(\frac{1 - U_{вкл}(R1 + R2)}{E \cdot R2} \right)}{R1 + R2}. \quad (7)$$

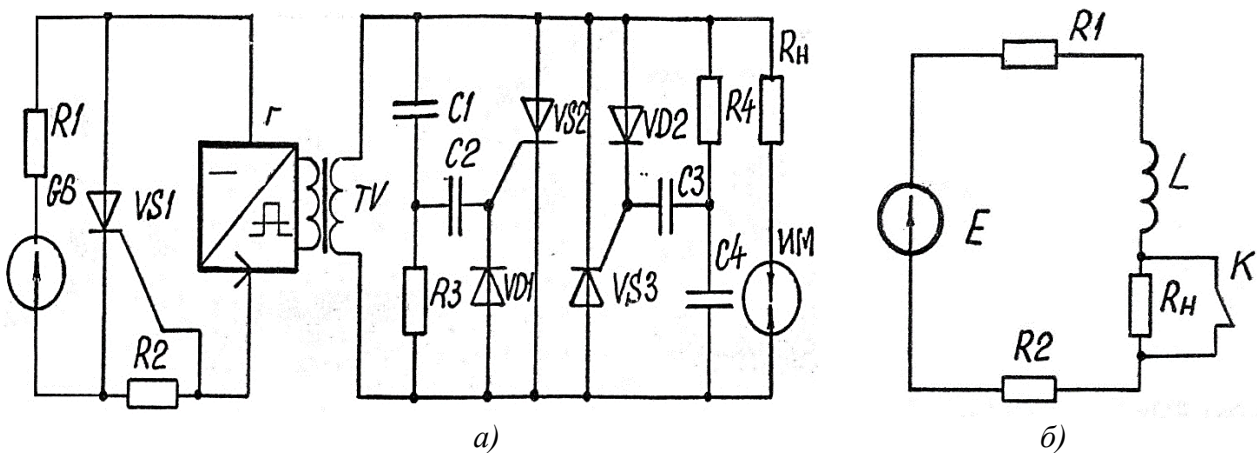


Рисунок 2 – Принципиальная схема устройства для обеспечения искробезопасности электрических цепей (а) и эквивалентная схема устройства, приведенная к первичной цепи трансформатора после срабатывания искрозащиты (б).

Чтобы выражение (5) имело физический смысл, необходимо обеспечить выполнение условия:

$$\frac{U_{вкл}(R1 + R2 + R_H)}{E \cdot R2} > 1. \quad (8)$$

Величина сопротивления нагрузки R_H в нашем случае на два порядка выше суммы ограничительного и измерительного сопротивления:

$$R_H \gg R1 + R2 \quad (9)$$

В то время, как напряжение включения силового тиристора $VS1$ лишь на порядок ниже ЭДС источника постоянного тока GB ($U_{вкл} < E$), поэтому в рассматриваемой схеме всегда должно выполняться условие (8).

Учитывая собственное время включения тиристора $t_{вкл}$, можно определить время, в течение которого чувствительный тиристор будет находиться в проводящем состоянии:

$$t_{np} = t_{вкл} + t, \quad (10)$$

где t – время переходного процесса.

Подставив в выражение (10) значение времени переходного процесса из уравнения (7) получим:

$$t_{np} = t_{вкл} - L \ln \frac{\left(\frac{1 + R1 + R2}{R_n} \right) \left(\frac{1 - U_{вкл} (R1 + R2)}{E \cdot R2} \right)}{R1 + R2}. \quad (11)$$

Анализ уравнения (11) показывает, что время включенного состояния чувствительного элемента-тиристора увеличивается при возрастании индуктивности источника и уменьшается по мере увеличения сопротивления нагрузки. Расчет t_{np} по формуле (11) для устройства с индуктивным источником ($L = 0,5 \cdot 10^{-3}$ Гн, $R1 = 0,5$ Ом, $R2 = 0,4$ Ом) и сопротивлением нагрузки, приведенным к первичной обмотке трансформатора $R_n = 100$ Ом показывает, что в качестве чувствительного элемента возможно использование тиристорov типа КУ201И, а в качестве дополнительного силового прибора-тиристора ПТЛ-100. При этом тиристор КУ201 находится во включенном состоянии на более 105 мкс и максимальная амплитуда его анодного тока не превышает 6,5 А, то есть обеспечивается надежная работа чувствительных элементов устройства искрозащиты.

При указанных параметрах устройства искрозащиты и напряжении холостого хода 150 В была достигнута искробезопасная мощность, полученную при использовании схемы УСДР с ограничением тока активным сопротивлением источника без дополнительного силового тиристора.

Однако при реализации этого способа с применением тиристорov средней мощности возникает необходимость в подборе приборов по току спрямления не должна превышать 5 мА.

Применение более чувствительных по току тиристорov малой мощности, например, КУ110, не всегда возможно, так как в этом случае предъявляются повышенные требования к быстродействию силового тиристора.

Избежать подбора тиристорov в устройствах УСДР, содержащих фильтр высоких частот (ФВЧ) можно, применив в качестве промежуточного чувствительного ключа транзисторы. После срабатывания промежуточного транзисторного ключа источник питания подключается к управляющему электроду шунтирующего элемента – тиристора. Следовательно, обеспечивается необходимый уровень сигнала для срабатывания тиристора, и повышается чувствительность схемы искрозащиты при высоком ее быстродействии.

Таким образом, в данной статье рассмотрены вопросы обеспечения искробезопасности цепей переменного тока повышенной мощности. Обоснован метод повышения их искробезопасной мощности путем повышения чувствительности устройств искрозащиты. Предложены соответствующие схемотехнические решения в виде принципиальной схемы устройства. Приведены основные математические выкладки по расчетам значений параметров элементов схемы, а также ее быстродействия. Приведены типы и номиналы применяемых в принципиальной схеме полупроводниковых элементов.

Перечень ссылок

1. Давыдов В.В. Исследование и разработка искробезопасных источников питания повышенной мощности для рудничного электрооборудования. Автореф. дисс. – М.: 1978. – 16 с., ил.
2. Горохов В.В., Щедрин М.Б. Физические основы применения тиристорov в импульсных схемах. – М.: Сов.радио, 1972. – 304 с., ил.
3. Лахманов В.Ф. Исследование и разработка средств обеспечения и совершенствования методов оценки искробезопасности рудничных электрических цепей. Дис. к.т.н. – Днепропетровск, 1980 – 202 с., ил.
4. Николаевский И.Ф., Игумнов Д.В. Параметры и предельные режимы работы транзисторov. – М.: Сов. Радио, 1971. – 384 с., ил.

ПРОБЛЕМЫ СОПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ ПОДАЧИ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ КОМБАЙНОВ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ

Беззуб В.Г., студ.; Несвитайло В.М, магистрант; Лавшонок А.В., к.т.н., доц.
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Повышение эффективности эксплуатации забойного оборудования угольных шахт неразрывно связано с обеспечением высоких показателей надежности применяемого оборудования, и в частности угледобывающих комбайнов. Актуальной является задача совершенствования длительного время выпускающихся и применяющихся комбайнов типа КА-80, К-103, КС-75 и др., которые штатно оснащаются вынесенной системой подачи с регулированием скорости посредством электромагнитной муфты скольжения.

Основным достоинством приводов, выполненных на базе электромагнитных муфт и тормозов скольжения, является простота конструкции и схем управления. Кроме того электромагнитная муфта скольжения позволяет регулировать скорость в широких пределах, однако существенным недостатком этого элемента является достаточно низкий коэффициент полезного действия и как следствие существенный нагрев элементов привода, что приводит к ускоренному старению элементов привода подачи и как следствие низкой надежности.

Основываясь на исследованиях [1] можно сказать о том, что наиболее перспективным видом привода для механизма перемещения очистных комбайнов является автоматизированный привод на основе частотно-регулируемого электропривода переменного тока, выполненного по схеме преобразователь частоты - асинхронный короткозамкнутый электродвигатель (ПЧ-АД).

Его использование позволяет обеспечить требуемые по условиям эксплуатации значения тяговых усилий и скоростей перемещения, повысить производительность очистных комбайнов, а также безопасность работ в очистном забое, упростить эксплуатацию и обслуживание машины. Схема такого комбайна показана на рисунке 1.

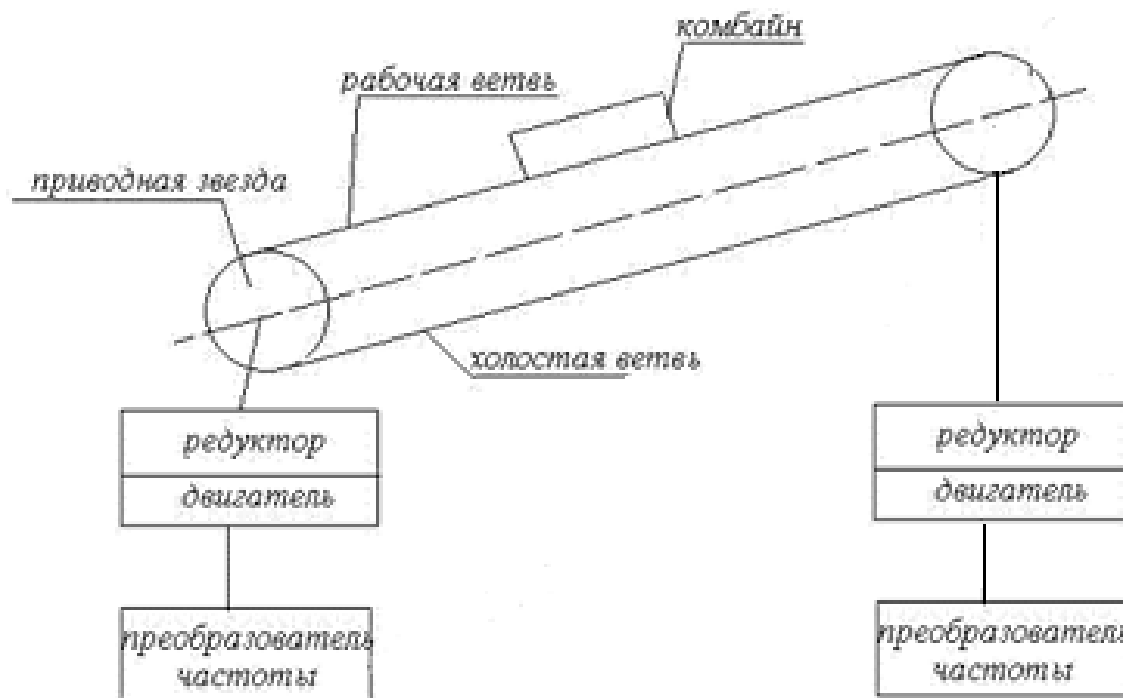


Рисунок 1 – Схема очистного комбайна с вынесенной системой подачи с преобразователем частоты

Использование преобразователей частоты в подземных выработках угольных шахт обусловлено рядом существенных ограничений. Такие устройства серийно выпускаются, сертифицированы и соответствуют всем требованиям, предъявляемым к рудничному электрооборудованию.

Общий вид преобразователя частоты показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид преобразователя частоты в рудничном

Применение серийных рудничных преобразователей частоты для управления вынесенной системой подачи выпускающихся и модернизируемых при ремонтах комбайнов сопряжено с необходимостью решения задачи сопряжения «старой» схемы управления комбайна и «современным» преобразователем частоты. В связи с этим представляют интерес исследования, направленные на разработку устройства сопряжения аппаратуры автоматизации очистных комбайнов с вынесенной системой подачи (КД-А) и частотного преобразователя (СУ-РВ ПЧ) способное эффективно работать в шахтной электрической сети.

Анализ технических характеристик серийных рудничных преобразователей частоты показал, что рациональный способ управления и связи с частотным преобразователем происходит непосредственно через сеть Profibus. Аппаратура КД-А имеет аналоговые выходы для воздействия на тиристорную систему управления электромагнитной муфтой скольжения. В связи с этим необходимо разработать устройство, которое будет связывать управляющие сигналы аппаратуры и управляемый преобразователь частоты.

Для реализации возможности подключения аппаратуры КД-А к внешнему серийному преобразователю частоты предлагается разработать и применить малогабаритный модуль, размещенный в электроблоке комбайна. Для обеспечения технологических требований к режиму работы разнесенных приводов вынесенной системы подачи необходимо обеспечить возможность раздельного управления двигателями верхнего и нижнего привода, в связи с этим модуль должен обеспечить связь с двумя отдельными преобразователями частоты, а учитывая особенности условий эксплуатации, эти каналы должны быть отдельные.

Модуль согласования целесообразно выполнить на базе малогабаритного однокристалльного микроконтроллера, оснащенного встроенным модулем аналого-цифрового преобразователя. Преимущество схемы на базе однокристалльного микроконтроллера состоит в их дешевизне, надежности и возможности реализации достаточно сложных протоколов передачи данных.

Структурная схема такого устройства показана на рисунке 3.

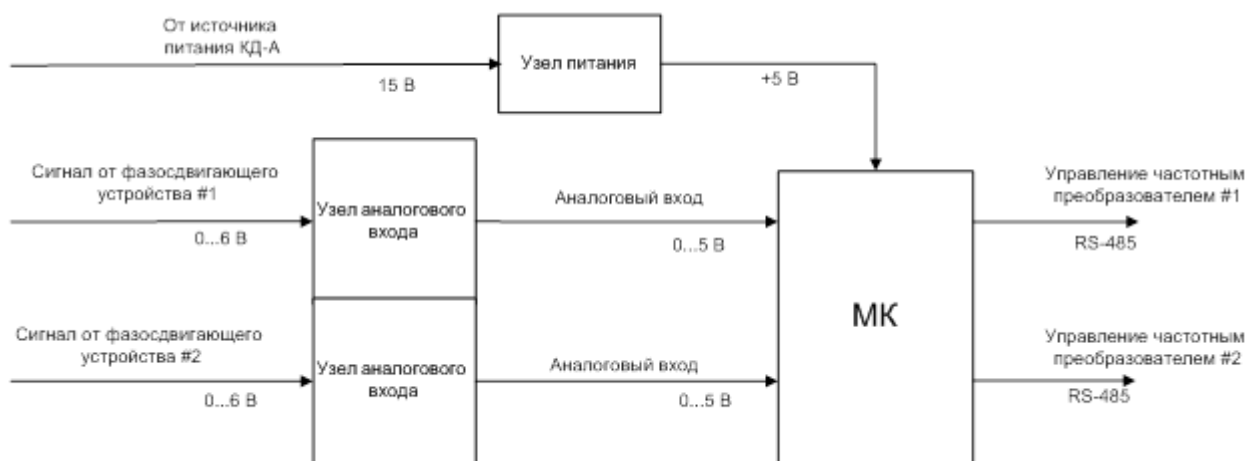


Рисунок 3– Структурная схема модуля согласования

В состав аппаратуры КД-А входит система регулирования нагрузки и скорости (РНС), которая контролирует скорость подачи комбайна и величину тока нагрузки двигателей рабочего органа, а так же формирует задание для управления скоростью подачи. В этом канале, используются задатчик скорости, датчики скорости, блок датчика скорости БДС, блок управления скоростью БУС, фазосдвигающие устройства, блок силовых тиристоров. Блок БДС преобразует частотный сигнал, поступающий с датчика скорости, в прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна частоте вращения выходного вала ЭМС. Блок БУС служит для сравнения фактической и заданной скоростей и преобразования разностного сигнала в сигнал управления фазосдвигающими устройствами, который является аналоговым в виде напряжения в диапазоне от 0 до 6 В.

Зная принцип работы этих устройств используем их для управления частотными преобразователями, для этого задействованы узлы аналогового входа, которые преобразуют аналоговый сигнал номиналом 0...6 В, в сигнал номиналом 0...5 В, с обеспечением защиты от перенапряжений. Однокристалльный микроконтроллер МК, воспринимает аналоговые сигналы по двум каналам, и на основании их формирует необходимые протоколы для передачи задания преобразователям частоты по стандарту RS485. При этом допускается использовать как один канал связи, так и два независимых канала. В качестве управляющего принят однокристалльный микроконтроллер ATmega-8A, который отличается малыми габаритами, низкой стоимостью и достаточной производительностью.

Аппаратура КД-А имеет доступное искробезопасное напряжение +15 В для цепей питания, которое после стабилизации до необходимого уровня +5 В может быть использовано для питания узлов схемы.

Применение описанного выше технического решения позволит провести модернизацию угледобывающих комбайнов с вынесенной системой подачи путем замены электромагнитной муфты скольжения на современный привод на базе серийного рудничного преобразователя частоты. При этом отсутствует необходимость существенно изменять систему автоматизации комбайна.

Перечень ссылок

1. Электрические механизмы перемещения очистных комбайнов / В.П. Кондрахин, В.В. Косарев, М. И. Стадник.- Под общ. ред. В. П. Кондрахина. - Донецк: Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2010.- 257 с.

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Бозоев С.В., студент; Ткаченко А.Е., к.т.н., доцент.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Отличительной особенностью угольной промышленности являются тяжелые условия работы и высокий уровень травматизма шахтёров. Повышение безопасности и эффективности труда горных рабочих – это задача, актуальность которой не угасает на протяжении многих десятилетий. Данная задача имеет различные варианты решения: совершенствование технологий ведения и организации подземных работ, механизация производственных процессов, использование объективного контроля состояния горного массива и шахтной атмосферы, оборудования и окружающей среды, автоматизация сложных технологических процессов.

Вариант комплексной автоматизации машин, механизмов и инженерного труда позволяет, за счёт использования дистанционных систем управления, сократить численность персонала и вывести его из опасной и неблагоприятной по условиям окружающей среды. При этом коэффициент использования технических возможностей оборудования значительно возрастает благодаря оптимизации режимов работы приводов и совмещения во времени выполнения нескольких операций. За счёт этого, в свою очередь, уменьшается количество простоев и повышается долговечность оборудования. [1]

Одним из основных технологических процессов шахты является добыча полезного ископаемого (ПИ). От его безаварийного и стабильного протекания зависит работа всего предприятия. На данный момент развитие технологий добычи ПИ позволило перейти к технологии выемки угля очистными забоями, что повышает производительность и снижает трудоемкость операций по добыче ПИ, а также позволяет применять комплексную автоматизацию данного объекта. Рассмотрим ниже очистной забой (см. рис.1) как объект автоматизации и сформулируем основные задачи его автоматизации, а также требования к системе автоматического управления процессом выемки угля.[2]

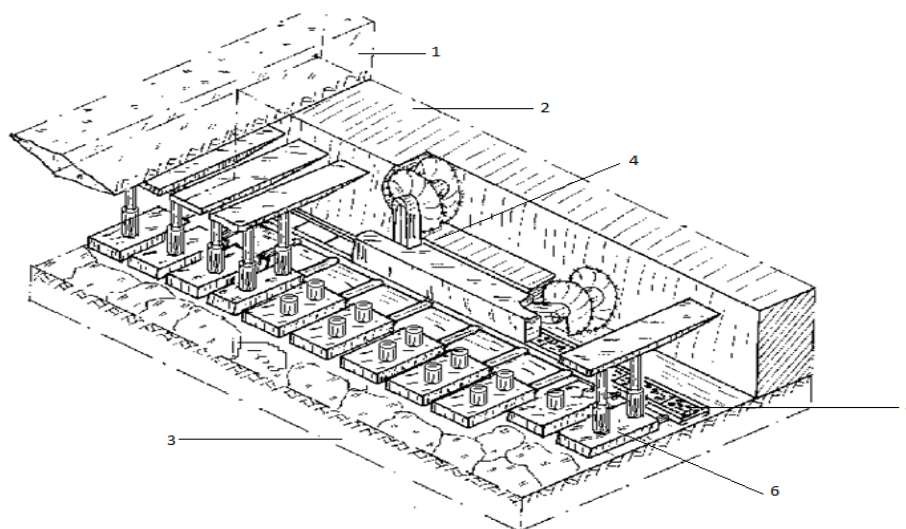


Рисунок 1 – Структура очистного забоя: 1 – порода кровли, 2 – полезное ископаемое, 3 – порода почвы, 4 – очистной комбайн, 5 – скребковый конвейер, 6 – секция механизированной крепи

Очистной забой – это перемещающаяся в пространстве зона извлечения полезного ископаемого, различают длинный и короткий очистной забой (далее ОЗ). Наибольшее

распространение, из-за высоких экономических показателей получили длинные ОЗ. В настоящее время полная автоматизация очистного забоя возможна только с применением струговых установок, которые мало распространены из-за ряда причин. Наиболее широко на данный момент применяются узкозахватные комбайны в составе механизированных комплексов, пришедшие на смену машинам с широким захватом. Следовательно, целесообразно реализовывать в промышленных масштабах именно автоматизацию узкозахватных очистных комбайнов с шнековым исполнительным органом (далее ИО), ввиду их наибольшей распространенности. [3]

Узкозахватный очистной комбайн с шнековым ИО – это горная машина, предназначенная для выемки и погрузки угля на скребковый конвейер. Широкое применение машины данного типа получили за счёт возможности эффективной добычи горной массы по всей гипсометрии угольного пласта. Технологическая схема подобного комбайна приведена на рис.2. [4]

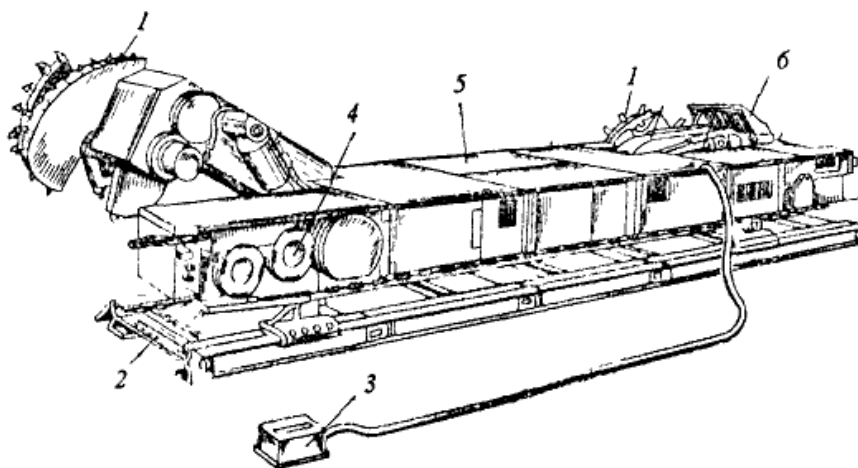


Рисунок 2 – Узкозахватный комбайн со шнековым исполнительным органом: 1 – шнеки; 2 – конвейер; 3 – пульт управления; 4 – механизм подачи; 5 – электродвигатель; 6 – погрузочный щиток

Основным недостатком при использовании данных машин является непосредственное участие рабочих в процессе выемки. Связанно это с перемещением ОК и перемещением его ИО по мощности пласта. Рабочий ОЗ для эффективной добычи должен иметь визуальный контакт с границей раздела порода-уголь, но из-за множества факторов корректировку ИО по данной границу производить на практике практически невозможно. Решение данной проблемы заложено в применении датчиков порода-уголь (далее ДПУ), которые на данный момент, в силу несовершенства конструкции, не получили распространения. Таким образом первой серьёзной задачей синтеза систем автоматического управления ОЗ должен быть обоснованный выбор типа, применяемого ДПУ.

Также для обеспечения безаварийной работы ОК следует:

- регулировать нагрузку на ИО ОК в зависимости от сопротивляемости вынимаемого массива резанию, что представляет из себя вторую основную задачу, которую следует решать при автоматизации очистного забоя.

- регулировать максимальную скорость резания (третья задача) в зависимости от следующих факторов: крепость углей, метанообильность пласта, скорость перемещения механизированной крепи.

Комплекс механизированной крепи – это горное оборудование, располагающееся по всей длине ОЗ, выполняющее функцию удержания пород кровли от преждевременного обрушения и передвижения скребкового конвейера к груди ОЗ.

Механизированные крепи по функциям взаимодействия с боковыми породами разделяют на поддерживающие, оградительные, оградительно-поддерживающие и

поддерживающе-оградительные; по конструктивной схеме взаимодействия секций – секционные, комплектные и агрегативные.

На данный момент системы автоматического управления крепью используется только в комплекте с струговыми установками, где чаще всего применяются крепи шагающего типа. В комплекте с узкозахватным ОК можно применить те же принципы и подходы реализации автоматического функционирования, что и в комплекте со стругом, но это подразумевает появление дополнительного количества исполнительных устройств, которые будут переключать режимы распора и перемещения крепи. Также возникает дополнительная проблема передачи управляющего воздействия на дистанцию более 200 м в условиях большого количества помех и электромагнитных наводок и обеспечения равномерного перемещения секций крепи.

Таим образом, четвертая задача автоматизации ОЗ - обоснование выбора типов управляемых приводов гидросистемы крепи, исполнительных механизмов и алгоритма управления ими, а пятая - обеспечение оперативного контроля линейности груди забоя, при перемещения секций крепи вслед за ОК и скребковым конвейером.

Скребковый конвейер – это транспортное устройство, которое непрерывно перемещает горную массу по неподвижному желобу – рештаку с помощью закреплённых на тяговых цепях скребков. В условиях ОЗ, с помощью скребкового конвейера осуществляет перемещение ОК и секции механизированной крепи. Основными регулируемые параметрами являются скорость движения скребков и сила натяжения цепи. Учитывая особенности технологического процесса, бесперебойная работа скребкового конвейера напрямую влияет на экономические показатели ОЗ, а также на бесперебойную работу ОК. Следовательно, шестой задачей при синтезе системы автоматического управления ОЗ является оперативный контроль параметров скребкового конвейера, регулирование скорости движения цепи и нагрузки на приводной двигатель.



Рисунок 3 – Скребковый конвейер

При решении поставленных задач комплексной автоматизации, вопрос создания самой системы автоматизации будет зависеть от горных условий и применяемого оборудования. Так общая структурная схема автоматизации (рис. 4) будет одинакова для всех автоматических систем данного вида.

В данную схему входит ПУ – пульт управления очистным механизированным комплексом, АОК – блок автоматики очистного комбайна, ИУ1 – исполнительные устройства, выполняющие функции регулирования положения ИО и направления перемещения ОК, АМК – блок автоматизированного управления секцией крепи, ИУ2 – исполнительные устройства, выполняющие функции контроля распора крепи, а также перемещения рештачного става скребкового конвейера и смой секции крепи; АСК – блок автоматики скребкового конвейера, ИУ3 – исполнительные устройства, выполняющие натяжение цепи. Комплект датчиков КД1, входящих в состав автоматизации ОК, включает в себя датчики породы-уголь, распора гидроцилиндров ИО и мощности электропривода. В

комплексе датчиков секций крепи КД2 предусмотрены устройства контроля состояния распора гидроцилиндров. КД3 – подразумевает датчики слежения за рабочим состоянием скребкового конвейера, включающие в себя датчики скорости движения и датчики порыва цепи.

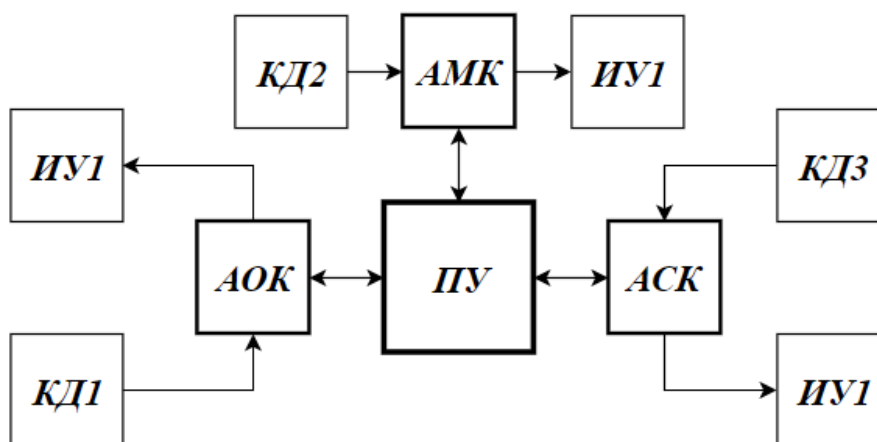


Рисунок 4 – Общая структурная схема автоматизации оборудования ОЗ

С учетом того, что продуктивная и безаварийная работа ОЗ возможна только при согласованной работе всех машин и механизмов, входящих в его состав, и отстоящих на большие расстояния друг от друга, то при его автоматизации также необходимо решать следующие задачи:

- седьмая – автоматизированный согласованный последовательный пуск и останов механизмов ОК;
- восьмая – обеспечение громкоговорящей связи по лаве;
- девятая – обеспечение дистанционного управления механизмов ОК.

Также специфика технологии работы в горных условиях накладывает на проектируемую аппаратуру ряд весьма важных требований:

- исполнение элементов системы во взрывозащищённых оболочках с применением искробезопасных цепей управления и питания;
- контроль состояния распора гидроцилиндров секций крепи.
- постоянный контроль состава шахтной атмосферы;
- введение дополнительных защит, связанных с работой в подземных условиях.

Таким образом, в данной статье были рассмотрены проблемы автоматизации очистного забоя, связанные с его технологическими особенностями, поставлены основные задачи автоматизации, выявлены требования к системе автоматики и предложена общая структура системы автоматизации.

Перечень ссылок

1. Курносов В.Г. Научные основы автоматизации в угольной промышленности: опыт и перспективы развития: монография /В.Г.Курносов, В.И.Силаев – Донецк: «Вебер» (Донецкое отдел.), 2009. – 422 с.
2. Основы горного дела, аэрологии, механики горных пород: Учебное пособие / В.И.Стрельников. – Донецк, ДонНТУ, 2011. – 57с.
3. Производственные процессы в очистных забоях угольных шахт: Учебник для вузов / И.Ф. Ярембаш, В.Д. Мороз, И.С. Костюк, В.И. Пилюгин. – Донецк: РИА ДонГТУ, 1998. – 184 с.: ил.
4. Горные машины для подземной добычи угля: Учебное пособие для вузов / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, М.М. Лисенко, С.В. Павленко, В.В. Косарев; Под общей редакцией П.А. Горбатова. – 2-е издание, переработанное и дополненное – Донецк: Норд Компьютер, 2006. – 669с.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСТАВКИ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ НА ТРУБОПРОВОДНУЮ СЕТЬ

Варданын Т.Б., магистрант; Оголобченко А.С., доц., к.т.н; Овсянников В.П., доц., к.т.н.
(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

При эксплуатации центробежных нагнетателей (далее по тексту нагнетателей), имеющих экстремальные напорные характеристики, при изменении сопротивления трубопроводной сети (далее по тексту сети), например, в результате изменения количества потребителей гидро или пневмоэнергии, возможна потеря устойчивости рабочего режима нагнетателя. Это явление происходит как правило на малых подачах нагнетателя. При этом возникают периодические незатухающие колебания потока жидкости или газа в трубопроводах. Работа нагнетателя в таком режиме резко увеличивает динамические нагрузки на все элементы гидросистемы, вызывает их ускоренный износ и может привести к разрушению трубопроводов.

Как показано в работе [1], возникновение неустойчивого рабочего режима в системе «центробежный нагнетатель – трубопроводная сеть» объясняется не только напорной характеристикой нагнетателя, но и влиянием волновых свойств напорных трубопроводов сети. Там же приведены условия, при которых рабочий режим рассматриваемой системы будет устойчивым:

$$\left. \frac{\partial P_c(Q)}{\partial Q} \right|_{Q_0} > \left. \frac{\partial P_H(Q, \omega)}{\partial Q} \right|_{Q_0, \omega_0}$$

$$m > \left. \frac{\partial P_H(Q, \omega)}{\partial Q} \right|_{Q_0, \omega_0} \quad (1)$$

где $P_c(Q)$ – напорная характеристика трубопроводной сети, Q – текущий расход в трубопроводной сети (подача нагнетателя), Q_0 – стационарный расход в трубопроводной сети, $P_H(Q, \omega)$ – напорная характеристика центробежного нагнетателя, ω – частота вращения ротора центробежного нагнетателя, ω_0 – номинальная частота вращения ротора центробежного нагнетателя, m – коэффициент характеризующий волновые свойства трубопровода, $m = \frac{\rho \cdot c}{S}$, ρ – плотность жидкости, c – скорость распространения волны в трубопроводе, S – площадь сечения трубопровода.

Неравенства (1) являются необходимыми и достаточными условиями для обеспечения устойчивости рабочего режима центробежного нагнетателя на трубопроводную сеть. В работе [1] доказано, что соотношения (1) эквивалентны одному условию:

$$\left. \frac{\partial P_c(Q)}{\partial Q} \right|_{Q_0} \cdot \left. \frac{\partial P_H(Q, \omega)}{\partial Q} \right|_{Q_0, \omega_0} < m^2 \quad (2)$$

Известно, что напорная характеристика центробежного нагнетателя $P_H(Q, \omega)$ аппроксимируется зависимостью (3), а напорная характеристика сети $P_c(Q)$ – зависимостью (4).

$$P_H(Q, \omega) = z \cdot \rho \cdot g \cdot \left(A \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + B \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \cdot Q + C \cdot Q^2 \right), \quad (3)$$

$$P_c(Q) = \rho \cdot g \cdot (H_T + a_c \cdot Q^2) \quad (4)$$

где z - число рабочих колес нагнетателя; A, B, C - постоянные коэффициенты, зависящие от типа нагнетателя; ω, ω_0 - соответственно текущая и номинальная частота вращения рабочего колеса нагнетателя; H_T - геометрическая высота нагнетания нагнетателя; a_c - гидравлическое сопротивление трубопроводной сети

Тогда из неравенства (2) с учётом уравнений (3), (4) следует, что рабочий режим нагнетателя будет устойчивым при условии:

$$2 \cdot a_c \cdot Q_0 \cdot \left(B \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) - 2 \cdot C \cdot Q_0 \right) \cdot z < \frac{m^2}{\rho^2 g^2} \quad (5)$$

Полученное неравенство (5) может быть использовано при расчете значений уставок в системах автоматического регулирования (САР) центробежных нагнетателей при которых рабочий режим нагнетателя на сеть будет устойчив.

Из известных способов регулирования рабочих режимов центробежных нагнетателей наиболее применяемые являются способ дросселирования трубопроводной сети и способ изменением частоты вращения рабочего колеса (колес) нагнетателя [2].

Рассмотрим расчет уставки в системе САР для обеспечения устойчивости рабочего режима центробежного нагнетателя на сеть при использовании указанных способов регулирования.

Способ дросселирования трубопроводной сети осуществляется путем введения в сеть дополнительного гидравлического сопротивления – изменяя степень открытия (закрытия) задвижки Зд, установленной на нагнетательном трубопроводе нагнетателя Н (см. рисунок 1). При этом способе регулирования частота вращения рабочего колеса (колес) нагнетателя не изменяется.

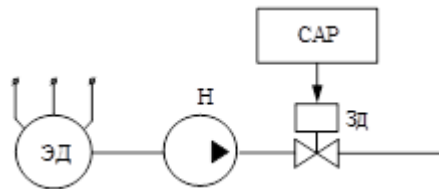


Рисунок 1 – Структурная схема нагнетателя с автоматически регулируемой задвижкой

Выражения (3) и (5) преобразуются соответственно к виду:

$$\tilde{P}_H(Q) = z \cdot \rho \cdot g \cdot (A + B \cdot Q - (C + a_3 \cdot z^{-1}) \cdot Q^2) \quad (6)$$

$$2 \cdot a_c \cdot z \cdot Q_0 \cdot (B - 2 \cdot (C + a_3 \cdot z^{-1}) \cdot Q_0) < \frac{m^2}{\rho^2 g^2} \quad (7)$$

Тогда из условия (7), с учетом влияния сопротивления задвижки на величину стационарного расхода нагнетателя, получим неявное уравнение, позволяющее определить минимальное сопротивление регулируемой задвижки $a_{3 \min}$, при котором рабочий режим нагнетателя на сеть будет устойчив:

$$Y(a_3) = 2 \cdot a_c \cdot z \cdot X(a_3) \cdot (B - 2(C + a_3 \cdot z^{-1}) \cdot X(a_3)) - \frac{m^2}{\rho^2 g^2} = 0 \quad (8)$$

где $X(a_3) = \frac{B \cdot z + \sqrt{B^2 \cdot z^2 + 4(C \cdot z + a_c + a_3)(A \cdot z - H_T)}}{2 \cdot (C \cdot z + a_c + a_3)}$.

Выражение $X(a_3)$ получено из совместного решения уравнений (3) и (4) с учетом сопротивления задвижки a_3 и $\omega = \omega_0$.

Уравнение (8) имеет решение при условии $Y(0) > 0$. Если $Y(0) < 0$, то рабочий режим нагнетателя устойчив.

В результате решения уравнения (8) получаем значение величины $a_{3 \min}$. Тогда значение коэффициента сопротивления задвижки ζ определится как

$$\zeta = \frac{g \cdot \pi^2 \cdot d^4}{8 \cdot a_{3 \min}}$$

где d - внутренний диаметр трубопровода, на котором установлена задвижка.

По значению ζ , используя известную зависимость $\zeta = f\left(\frac{h}{d}\right)$ для конкретного типа задвижки (справочные данные), определяется степень регулирования задвижки $\frac{h}{d}$, где h – ход штока дросселирующего органа задвижки. Величина $\frac{h}{d}$ может также определена по эмпирическим зависимостям, приведенным в литературе [2].

Зная значения величин $\frac{h}{d}$ и d , определяется требуемый ход штока дросселирующего органа задвижки (ΔH) как

$$\Delta H = \frac{d - \frac{h}{d}}{d}$$

Величина ΔH является искомой величиной уставки в САР задвижки на нагнетательном трубопроводе нагнетателя, при которой обеспечивается устойчивость рабочего режима нагнетателя на сеть.

Способ изменением частоты вращения рабочего колеса (колес) нагнетателя осуществляется, как правило, путем изменения частоты вращения приводного электродвигателя ЭД нагнетателя Н (см. рисунок 2).

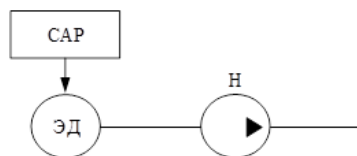


Рисунок 2 – Структурная схема нагнетателя с САР частоты вращения приводного электродвигателя

Для определения минимального значения частоты ω_y приводного электродвигателя нагнетателя, при которой обеспечивается устойчивость рабочего режима нагнетателя на сеть, проведены преобразования, аналогичные выше по тексту. Опуская промежуточные преобразования, запишем неявное нелинейное уравнение вида

$$Z(\omega_y) = 2 \cdot a_c \cdot z \cdot Q_0(\omega_y) \cdot \left(B \cdot \left(\frac{\omega_y}{\omega_0} \right) - 2 \cdot C \cdot Q_0(\omega_y) \right) - \frac{m^2}{\rho^2 \cdot g^2} = 0, \quad (9)$$

где величина $Q_0(\omega_y)$ определяется из системы уравнений (3) и (4) при $\omega = \omega_y$.

Решение уравнения (9) существует, если $Z(\omega_y) > 0$ в противном случае соблюдается неравенство (2) и нет необходимости регулировать частоту вращения приводного электродвигателя нагнетателя с целью обеспечения устойчивости рабочего режима нагнетателя на сеть. Уравнение (9) решается при помощи численного метода – метода итераций. Полученное значение ω_y служит уставкой в САР нагнетателя путем изменения частоты вращения приводного электродвигателя нагнетателя, при которой обеспечивается устойчивость рабочего режима нагнетателя.

Перечень ссылок

1. Тимошенко, Г. М. Научные основы проектирования и эксплуатации насосных установок в переходных режимах. – К.: Донецк: Вища школа, 1986. – 125с.
2. Никулин, Э.К. Методология расчётов гидродинамических параметров шахтных автоматизированных стационарных установок с центробежными нагнетателями: монография / Э.К. Никулин, И.В. Ковалёва, К.Н. Маренич.- Донецк: ООО "Технопарк ДонГТУ "Унитех", 2015. – 134 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ РАБОТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ КОТЕЛЬНОЙ С ТОПКАМИ НТКС

Василенко Д.К., магистрант; Лаппо П.В., доц, к.т.н.; Ткаченко А.Е., доц, к.т.н.
(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Проблема своевременного, экономичного и полного обеспечения абонентов промышленных предприятий теплотой на отопление, вентиляцию и технологические нужды в условиях переменного теплоснабжения, что связано как с сезонностью, так и с графиком работы предприятия, является чрезвычайно актуальной в современных реалиях. Ее решение будет способствовать снижению себестоимости выпускаемой продукции, обеспечению безаварийного функционирования промышленных объектов, а также удовлетворению санитарно-гигиенических требований условий труда.

Особенностью промышленных предприятий является то, что количество тепла, которое необходимо передать потребителям для удовлетворения их текущих потребностей является величиной переменной и зависит от многих внешних факторов. Таким образом, возникает задача регулирования количества переданной потребителям теплоты с целью снижения расхода топливных ресурсов и обеспечение условий для нормального функционирования потребителей.

В качестве мер по повышению эффективности теплоснабжения промышленных предприятий целесообразно предложить:

- 1) применение в схемах теплоснабжения высокоэкономичных источников теплоты;
- 2) при работе в группе этих источников определять рациональную общую производительность котлоагрегатов в соответствии с фактическим тепловым спросом;
- 3) разработку и внедрение в промышленную эксплуатацию системы автоматического управления производством и распределением теплоты.

Применение в качестве источников теплоты группы котлов низкотемпературного кипящего слоя (НТКС) удовлетворяет всем этим требованиям и обеспечивает реализацию следующих преимуществ этого способа сжигания:

- возможность сжигания низкосортного топлива с зольностью до 80%, которое не горит в слоевых топках;

- уменьшение объемов котлов, а, следовательно, и их металлоемкости, вследствие высокой интенсивности процессов горения и теплообмена в кипящем слое;

- значительное уменьшение без дополнительных затрат вредных выбросов оксидов азота с продуктами горения из-за низкого температурного уровня, при котором происходит процесс горения в топке, а также выбросов оксидов серы путем связывания их солями кальция и магния, содержащимися в золе исходного топлива, а также путем добавления в слой известняка и доломита;

- более высокую эффективность горения по сравнению с котлами традиционного типа.

Рассмотрим краткую характеристику технологического процесса сжигания твердого топлива в НТКС [2]. Технологическая схема со средствами автоматизации котельной установки с НТКС приведена на рис. 1.

Во время процесса горения твердое топливо находится в псевдоожиганном состоянии, что способствует лучшему теплообмену и максимальному выгоранию угля. Технологический процесс идет следующим образом.

Сначала в топку насыпают слой инертного материала, который разогревают до необходимой температуры 400 °С факельным способом, после чего включают питатель твердого топлива и осуществляют подачу топлива в топку. Факельные горелки выключают

после достижения слоев температуры 800 °С. Подачу твердого топлива осуществляют непрерывно.

Топливо на решетку подают с помощью пневматического забрасывателя с пластинчатым питателем, который работает от асинхронного привода. С помощью различных типов вариаторов обеспечиваются требуемая скорость питателя, а, следовательно, требуемый расход топлива.

Воздух для псевдооживления и поддержания необходимой температуры слоя поступает от высоконапорного дутьевого вентилятора под колпачковую воздухораспределительную решетку. Скорость дутьевого воздуха регулируется углом поворота лопаток дутьевого вентилятора. Скорость дутьевого воздуха на выходе из отверстий воздухораспределительной решетки должно быть от 0,5 до 4 м/сек.

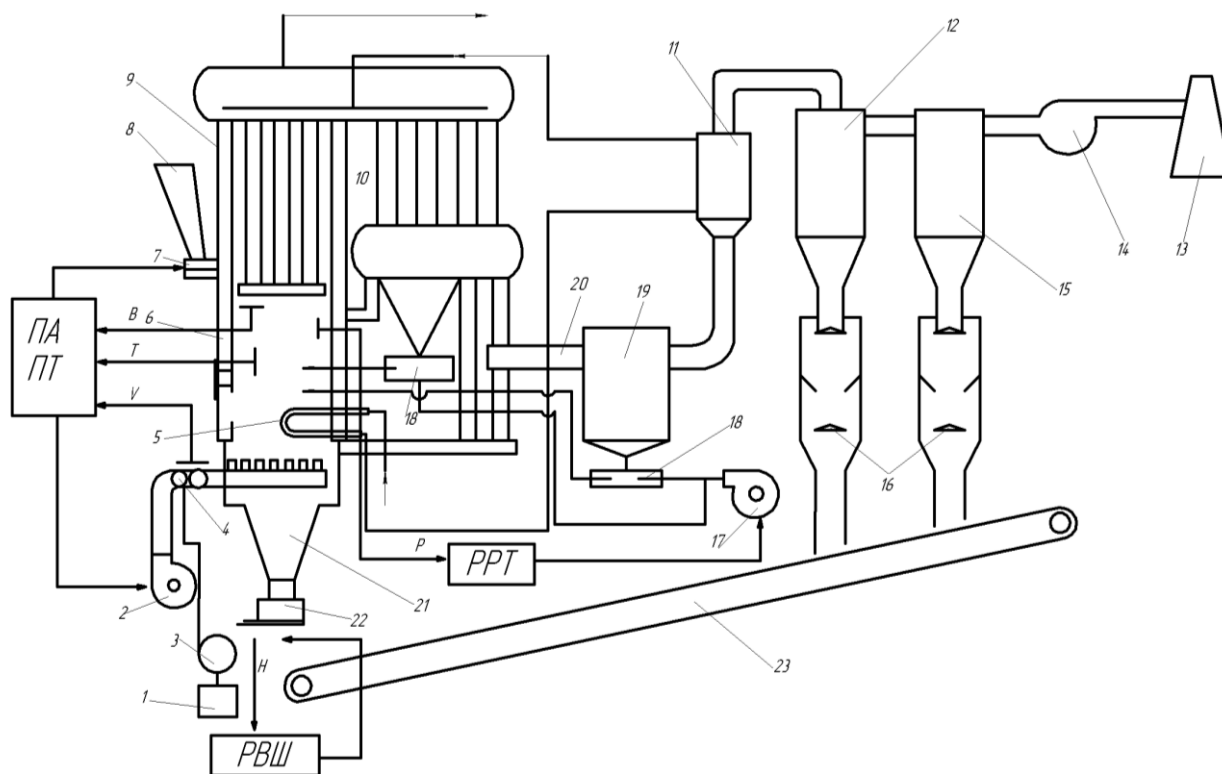


Рисунок 1 - Технологическая схема котла с топкой НТКС и средствами автоматизации

На рисунке 1 обозначено: 1 – емкость для жидкого топлива; 2 – топливный насос; 3 – дутьевой вентилятор; 4 – растопочное устройство; 5 – погружные поверхности нагрева (ППН); 6 – топка; 7 – забрасыватель топлива; 8 – топливный бункер; 9 – котел; 10 – радиационная поверхность нагрева; 11 – экономайзер; 12 – циклон первой ступени очистки; 13 – труба; 14 – дымосос; 15 – циклон второй ступени очистки; 16 – двойные пылевые затворы; 17 – вентилятор возвращения отнесения; 18 – эжектор; 19 – циклон прямоточный; 20 – газоход; 21 – бункер золы; 22 – разгрузчик золы; 23 – конвейер золоудаления; РРТ – регулятор разрежения над топкой; РВШ – регулятор высоты слоя; УУПТ – устройство управления производительности топки.

Для бесперебойной и безаварийной работы топки большое значение имеет своевременное удаление накопившейся золы, что также обеспечивает поддержание температуры и высоты слоя на необходимом уровне. Шлак из топки удаляется по ходу работы котельной при достижении им определенного уровня с помощью специального золоудаляющего устройства. Это не вызывает проблем поскольку кусочки шлака через их большую плотность тонут в кипящем слое и собираются в нижней части топки.

Большая часть тепла, которое выделяется во время горения топлива, отбирается с помощью погружных поверхностей нагрева, которые устанавливаются в самом псевдооживленном слое.

Исходя из технологических особенностей процесса, возможно выдвинуть следующие требования к эффективному функционированию группы котлов НТКС[1]. В качестве функции цели выбрана такая суммарная производительность котлоагрегатов $Q_{к.а.}$, которая удовлетворяла бы текущий тепловой спрос потребителей $\sum_{i=1}^{i=n} Q_{n.i}$ с учетом всех потерь в потребителях (абонентах) $\sum_{i=1}^{i=n} Q_{nom.n.i}$, а также потерь тепла при его производстве $\sum_{i=1}^{i=n} Q_{nom.к.i}$ [2]:

$$Q_{к.а.} \rightarrow \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_{n.i} + \sum_{i=1}^{i=n} Q_{nom.n.i} + \sum_{i=1}^{i=m} Q_{nom.к.i}}{\eta} 100\%. \quad (1)$$

При выполнении критериев:

- по обеспечению максимально возможного значения КПД котельной (одного котлоагрегата и группы котлов) в зоне рационального использования при $\eta \geq \eta_{min}$:

$$\eta \geq \eta_{min} \rightarrow max. \quad (2)$$

- по обеспечению минимума материальных затрат на используемый вид топлива:

$$\begin{cases} B_m(\{G_i\}) = \sum_{i=1}^m B_i(G_i) \rightarrow \min \\ f_{MЗ}(\{G_i\}) = \sum_{i=1}^m B_i(G_i) \cdot p \rightarrow \min \end{cases}, \quad (3)$$

где p – цена используемого в данном типе котла вида топлива, B_i – расход топлива, используемого i -м котлом для обеспечения i -й теплопроизводительности G_i ;

При следующих технологических наложенных ограничениях:

- по заданным значениям температурам теплоносителя (воды) в подающем t'_n и обратном t'' трубопроводах, общей водопроизводительности котлов и диапазону рабочей производительности (от G_i^{min} до G_i^{max}) каждого котла [3, 4]:

$$\begin{cases} t'_n = t'_{n.зад}; t''_n = t''_{n.зад} \\ \sum_{i=1}^m G_i = G \\ G_i^{min} \leq G_i \leq G_i^{max}, i = 1 \dots m \end{cases} \quad (4)$$

- по обеспечению безаварийного функционирования каждого котла, путем поддержания его технологических параметров в заданном технологическом режиме диапазоне существования [1, 2]:

$$[\overline{X_i \min}] \leq [\overline{X_i}] \leq [\overline{X_i \max}]; \quad (5)$$

где $[\overline{X_i}]$ – вектор технологических параметров i -го котла, $[\overline{X_i \min}]; [\overline{X_i \max}]$ – вектора верхних и нижних пределов существования технологических параметров.

Очевидно, что обеспечение выдвинутых критериев возможно, лишь при условии синтеза и внедрения в промышленное использование системы автоматического управления производством и распределением теплоты в системе теплоснабжения шахты. Данная система должна выполнять следующие функции [4, 5]:



Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма работы системы автоматического управления производством теплоты

приведенная на рисунке 3.

В состав системы входят следующие компоненты: ТД - технологические датчики); БС - блок согласования технологических датчиков с регулятором; ТРМ - универсальный ПИД-регулятор шестнадцатиканальный ТРМ-148-р; В - входные элементы; ВЧ - вычислители; ПР - программные регуляторы; ВД - выходные элементы; БР - блок развязки дискретных

- прогнозировать тепловой спрос абонентов в заданной временной перспективе в соответствии с температурой окружающей среды, графиком работы предприятия и теплотехническими показателями шахтных потребителей. Вырабатывать текущее задание по производительности группы источников теплоты;

- в соответствии с заданием определять рациональный состав котлов НТКС и производительность каждого по критерию (2) с учетом наложенных ограничений (3-4). Вырабатывать текущее задание по производительности каждого котла;

- регулировать производительность каждого котла НТКС согласно полученного задания;

- определять наиболее рациональный способ достижения и поддержания требуемого задания в соответствии с текущими значениями технологических параметров топки.

Обобщенный алгоритм, реализующий вышеперечисленные функции системы представлен на рис.2. как видим, он включает в себя несколько основных подпрограмм:

- 1) Подпрограмму расчета рационального состава и производительности каждого котла НТКС на основании выражений (1)-(5);

- 2) Подпрограмму регулирования производительности каждого котла в соответствии с полученным заданием $Q_{к.а.}$;

- 3) Подпрограмму распределения теплоты между потребителями с учетом их удаленности от источников теплоты, категоричности, теплоаккумулирующей способности и др.

Для практической реализации системы автоматического управления котлоагрегатом с НТКС предложена структурная схему,

элементов - модуль дискретного вывода; USB-RS - преобразователь USB-RS485; ВБП - встроенный блок питания. ПИД-регулятор восьмиканальный TPM-148-р [6] предназначен для измерения и автоматического регулирования температуры, а также других физических параметров, значения которых первичными преобразователями (датчиками) может быть преобразовано в напряжение постоянного тока или унифицированный электрический сигнал. Информация о любом из измеренных физических параметров может отображаться в цифровом виде на встроенном индикаторе.

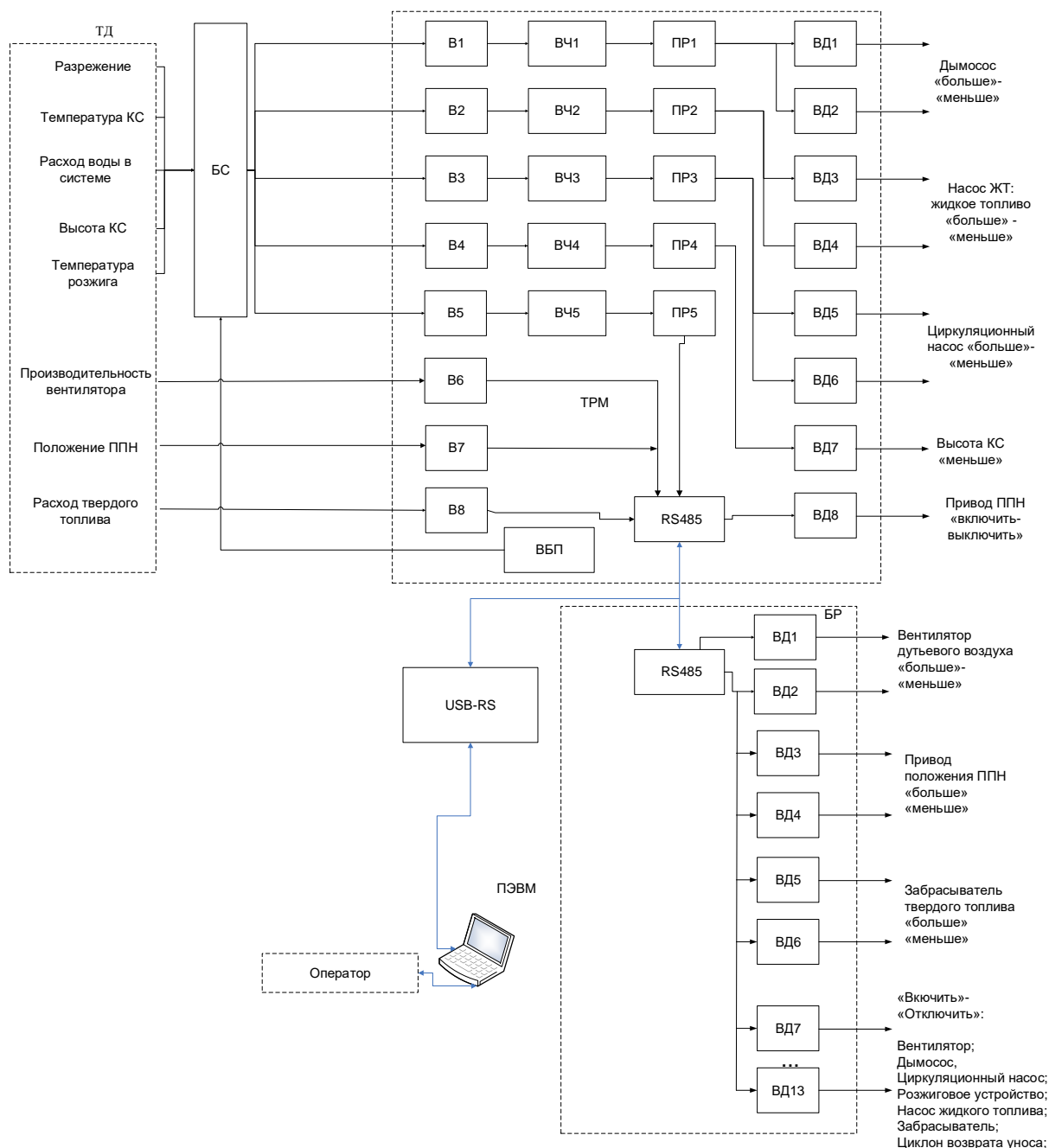


Рисунок 3 – Структурная схема системы автоматизации котлоагрегата НТКС

Основные функции прибора:

- измерение физических параметров объекта, контролируемых входными первичными преобразователями;
- цифровая фильтрация измеренных параметров от промышленных импульсных помех;
- коррекция измеренных параметров для устранения погрешностей первичных преобразователей;
- вычисления значений параметров объекта по заданной формуле;

- отображение результатов измерений или вычислений на встроенном светодиодном четырехразрядный цифровом индикаторе;
- регулирования физической величины по ПИД-закону или двухпозиционному закону;
- реализацию коррекции регулируемой физической величины в соответствии с графиками изменения задаваемых в зависимости как от внешних параметров, так и/или от времени;
- регистрация измеренной или вычисленной физической величины;
- формирование аварийного сигнала при обнаружении неисправности первичных преобразователей с отображением его причины на цифровом индикаторе;
- формирование аварийного сигнала при выходе регулируемой величины за допустимые пределы;
- формирование аварийного сигнала при обнаружении неисправности исполнительного механизма;
- отображение заданных параметров регулирования на встроенном светодиодном цифровом индикаторе;
- передачу в сеть RS_485 текущих значений измеренных или вычисленных величин, а также выходного сигнала регулятора и параметров состояния объекта.

Прибор ТРМ148 спроектирован и реализован с возможностью настройки параметров своего функционирования и сохранения рабочей информации:

- изменение значений программируемых параметров прибора с помощью встроенной клавиатуры управления;
- изменение значений параметров с помощью компьютерной программы конфигуратора при связи с компьютером по RS-485;
- формирование команды ручного управления исполнительными механизмами и устройствами с клавиатуры прибора;
- сохранение заданных программируемых параметров в энергонезависимой памяти при отключении напряжения питания прибора

Таким образом, в данной статье была рассмотрена группа котлоагрегатов НТКС как объект автоматизации. Были предложены критерии их рациональной работы исходя и функции цели – получения максимального средневзвешенного КПД котельной с наложенными технологическими ограничениями. Разработаны требования к системе автоматического управления котлами, а также представлены алгоритм работы системы автоматизации и ее структурная схема.

Перечень ссылок

1. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. – М.:Энергоатомиздат, 1998. – 528 с.: ил.
2. Вискин Ж.В. Сжигание угля в кипящем слое и утилизация его отходов / Ж.В. Вискин и др. – Донецк: «Новый мир», 1997. – 284 с.
3. Шалагинова З.И. Задачи и методы расчета температурных графиков отпуска тепла на основе теплогидравлического моделирования систем теплоснабжения// Теплоэнергетика. – 2004. - №7. – с.41-49.
4. Ткаченко А.Е. Обоснование критерия управления рациональным режимом работы группы котлоагрегатов низкотемпературного кипящего слоя. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции 2015 г., № 7, часть 3 (18-3). – Воронеж, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», С.58-61
5. Ткаченко, А.Е. Разработка требований к системе управления комплексом теплоснабжения шахты с топками кипящего слоя / А.Е. Ткаченко // Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2007», Ч. I.: Материалы конференции. 23-25 марта 2005 г. – Ухта: УГТУ, 2005. –с.62-67
6. Регуляторы ТРМ. Каталог продукции. – М.: ОВЕН, 2005.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЛЕНТОЧНОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИЕЙ

Горячев Н.В., магистрант; Ткаченко А.Е., к.т.н., доцент.

(ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”, г. Донецк, ДНР)

Ленточные конвейеры способны осуществлять непрерывное транспортирование грузов на большие расстояния, что по технологическим причинам обуславливает их незаменимость на шахтах и рудниках. Именно поэтому, особое значение приобретает вопросы надежной и безопасной эксплуатации конвейерных линий.

Контролировать технологические параметры ленточных конвейеров необходимо как для обеспечения непрерывной и безаварийной работы конвейера, так и требуемой производительности конвейера, а также стабилизации натяжения ленты. Для решения данных задач необходимо осуществлять оперативный контроль и управление или, как это ещё называется, – диагностику состояния конвейерной линии. Диагностирование – процесс оперативного контроля состояния объекта в режиме реального времени или же анализ системы по результату её работы постфактум.

Система диагностики конвейерной линии должна обеспечивать непрерывный контроль технологических параметров рабочего и аварийного режимов, собирать архивные данные и, по возможности, анализировать в автоматическом режиме причины возникновения аварийных ситуаций.

Рабочий режим ленточного конвейера характеризуется такими основными технологическими параметрами, как: скорость движения ленты $[\vartheta]$, м/с, погонный вес насыпаемого груза $[G]$, кН/м, натяжение ленты $[S]$, кН, производительность конвейерной линии (либо, возможно, производительность очистного забоя) $[Q]$, т/час, уровень груза в бункере и массовый расход груза из бункера $[q]$, т/час.

Для нормальной работы конвейерной установки должны выполняться следующие технологические требования: скорость движения ленты должна изменяться в диапазоне от минимально допустимого значения (75% от номинальной) и до номинального значения (традиционно в аппаратуре автоматики допускается превышение скорости движения ленты до +2% относительно номинальной), устанавливаемого оператором для данного типа конвейера и условий его работы; должен осуществляться оперативный контроль веса насыпаемого груза для последующей стабилизации нагрузки на ленту и регулирования натяжения; натяжение ленты конвейера не должно достигать минимально допустимого значения на провисание и не превышать максимально допустимое значение для предотвращения порыва ленты; должен контролироваться массовый расход груза из бункера для дальнейшего регулирования нагрузки на ленту и стабилизации натяжения.

Также при работе ленточной конвейерной линии возможны следующие аварийные ситуации:

- Сход ленты – срабатывание датчика контроля схода ленты КСЛ ($D_{ksl} = 1$);
- Заштыбовка – срабатывание датчика заштыбовки ДЗШ ($D_{dzw} = 1$);
- Экстренный останов конвейера – срабатывание кабель - тросового выключателя ($D_{ksl} = 1$);
- Скорость движения ленты вышла из допустимого диапазона ($\vartheta_{min} \leq \vartheta \leq \vartheta_{уст}$);
- Натяжение ленты вышло из допустимого диапазона ($S_{min} \leq S \leq S_{max}$);
- Верхний уровень бункера – объём груза достиг верхнего предельного уровня ($H_{max} = 1$);
- Нижний уровень бункера – объём груза достиг нижнего предельного уровня ($H_{min} = 1$);
- Аварийный стоп конвейера – (Stop_авария);

Рассмотрим алгоритм работы разрабатываемой системы диагностики ленточной конвейерной линии. В качестве базовой принята современная аппаратура автоматизации САУКЛ.

На первом этапе система производит инициализацию линий связей, устанавливает уставки по скорости и натяжению, проводит предварительный опрос технологических датчиков, таких как, двухпозиционные датчики верхнего и нижнего уровня в погружном бункере, тахогенераторные датчики скоростей приводных двигателей и движения ленты, датчик натяжения, основные датчики аварийных ситуаций (КТВ, КСЛ, ДЗШ) для проверки их работоспособности.

На втором этапе начинается непрерывный технологический опрос всех датчиков, и система ждёт команды оператора на пуск конвейерной линии, далее система диагностики подаёт сигнал на блок управления конвейером в составе системы автоматизированного управления конвейерной линии САУКЛ, и будет запущен магистральный конвейер в направлении обратном грузопотоку, затем могут быть запущены участковые конвейеры.

В режиме реального времени система осуществляет непрерывный контроль параметров рабочего и аварийного режима конвейерной линии. Так же, при необходимости, может осуществляться стабилизация нагрузки на ленту конвейера и регулирование натяжения или скорости движения ленты, а именно, в режиме PID-регулирования система может управлять заслонками всех погрузочных бункеров и всеми приводными электродвигателями конвейерной линии, тем самым регулируя нагрузку на ленту, натяжение и скорость движения каждого ленточного конвейера линии.

В случае возникновения любой из описанных выше аварийных ситуаций, разрабатываемая система должна инициализировать место аварии. Если авария произошла на участковом конвейере, он будет остановлен, и данная участковая ветвь будет изолирована, однако, в случае возникновения аварии на магистральном конвейере, будет остановлена вся конвейерная линия. Далее система должна определить непосредственно аварийную ситуацию и выдать сообщение с информацией об аварии на пульт диспетчера, сопровождая всё соответствующим звуковым и световым сигналами. После устранения неполадки система снимает запрет на пуск конвейера и погрузочного бункера.

В конце рабочей смены значения основных параметров рабочего режима и записи об авариях архивируются, так же могут быть выданы рекомендации для ремонтной смены, например, осуществить ручное регулирование натяжения ленты 1-ого участкового конвейера перед началом следующей смены, проверить работу датчиков уровня в погрузочных бункерах, так как были зафиксированы недостоверные сведения.

Исходя из того, что задачей системы диагностики работы конвейерной линии является не только оперативный контроль, но и индикация, архивация параметров рабочего и аварийного режимов, актуальным техническим решением будет считаться создание Scada-системы, основанной на работе программируемого логического контроллера и мнемосхемы на АРМ диспетчера.

Вышеописанный алгоритм работы системы диагностики реализован на базе PLC 150 в среде программирования Codesys, а мнемосхема для АРМ диспетчера разработана в программе Master Scada. Общий вид мнемосхемы системы представлен на рисунке 1.

На схеме представлены: анимационные изображения, сигнализирующие о работе участковых конвейеров; окна управления, а именно, окно управления уч. конвейером №1, уч. конвейером №2, окно управления магистральным конвейером; изображения участковых погрузочных бункеров, столбчатые индикаторы уровня, светодиодный индикатор, сигнализирующий о состоянии бункера, кнопки управления “Открыт”, “Закрыт”, значения производительности очистного забоя и массового расхода груза из бункера; у каждого конвейера на схеме есть блок индикации и управления, представленные светодиодными индикаторами аварийного режима, кнопками “Пуск”, “Стоп”, “Аварийный стоп”.

Разработанная мнемосхема на АРМ диспетчера существенно повышает эффективность и эргономические качества работы оператора конвейерной линии.

Оператор может контролировать процесс транспортирования и состояние всех объектов в составе конвейерной линии в режиме реального времени с помощью светодиодных индикаторов.

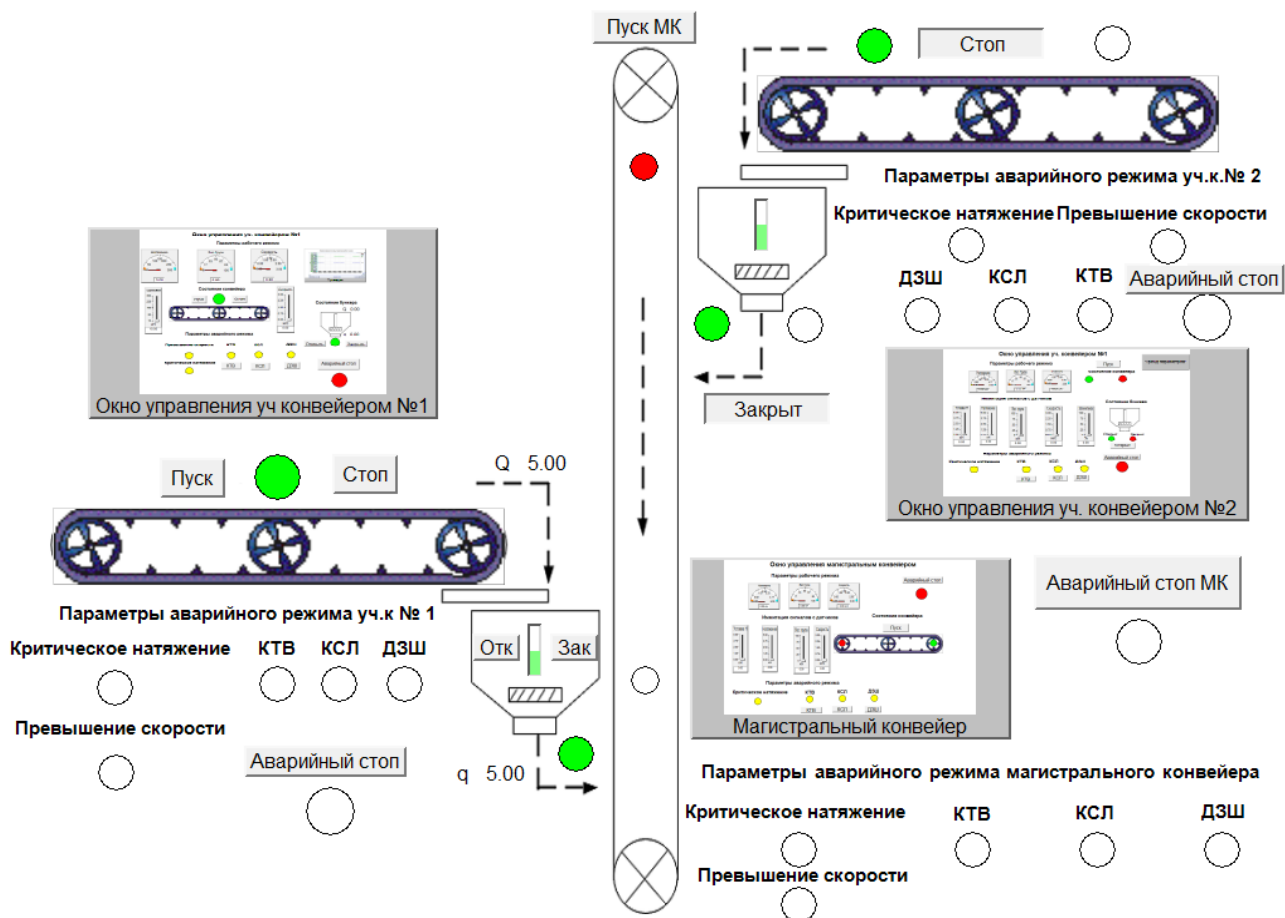


Рисунок 1 - Общий вид мнемосхемы системы диагностики на АРМ диспетчера

При этом, в окне управления отдельным ленточным конвейером он может отслеживать параметры рабочего и аварийного режимов с помощью стрелочных приборов и светодиодных аварийных индикаторов; осуществлять запуск и останов конвейера с помощью соответствующих кнопок; задавать уставки в ручном режиме с помощью ползунковых регуляторов; управлять погрузным бункером, а именно, регулировать значение массового расхода груза из бункера; фиксировать производительность добычного участка.

Так же, изменение основных параметров рабочего режима представлены в виде графика в окне «Тренды».

Ниже более подробно рассмотрим схему и работу окна управления.

На схеме окна управления представлены: стрелочные индикаторы «Натяжение», «Вес груза», «Скорость» для контроля и визуализации соответствующих параметров рабочего режима; ползунковые регуляторы «Уставка натяжение», «Уставка скорость», для задания уставок оператором в ручном режиме; анимационное изображение конвейера и светодиодный индикатор, сигнализирующие о работе либо об останове конвейера; кнопки управления конвейером «Пуск», «Стоп»; светодиодные индикаторы аварийного режима, кнопка «Аварийный стоп» и светодиодный индикатор аварии; изображение погрузного бункера, столбчатый индикатор для визуализации уровня груза в бункере, редактируемые значения для визуализации и управления массовым расходом груза из бункера и производительности очистного забоя, индикатор состояния бункера и кнопки управления «Открыт», «Закрыт»; так же на схеме расположена вкладка «Тренды», при нажатии на неё оператору открывается соответствующее окно, где расположен график изменяющихся параметров рабочего режима конвейера в реальном времени.

Общий вид окна управления представлен на рисунке 2.

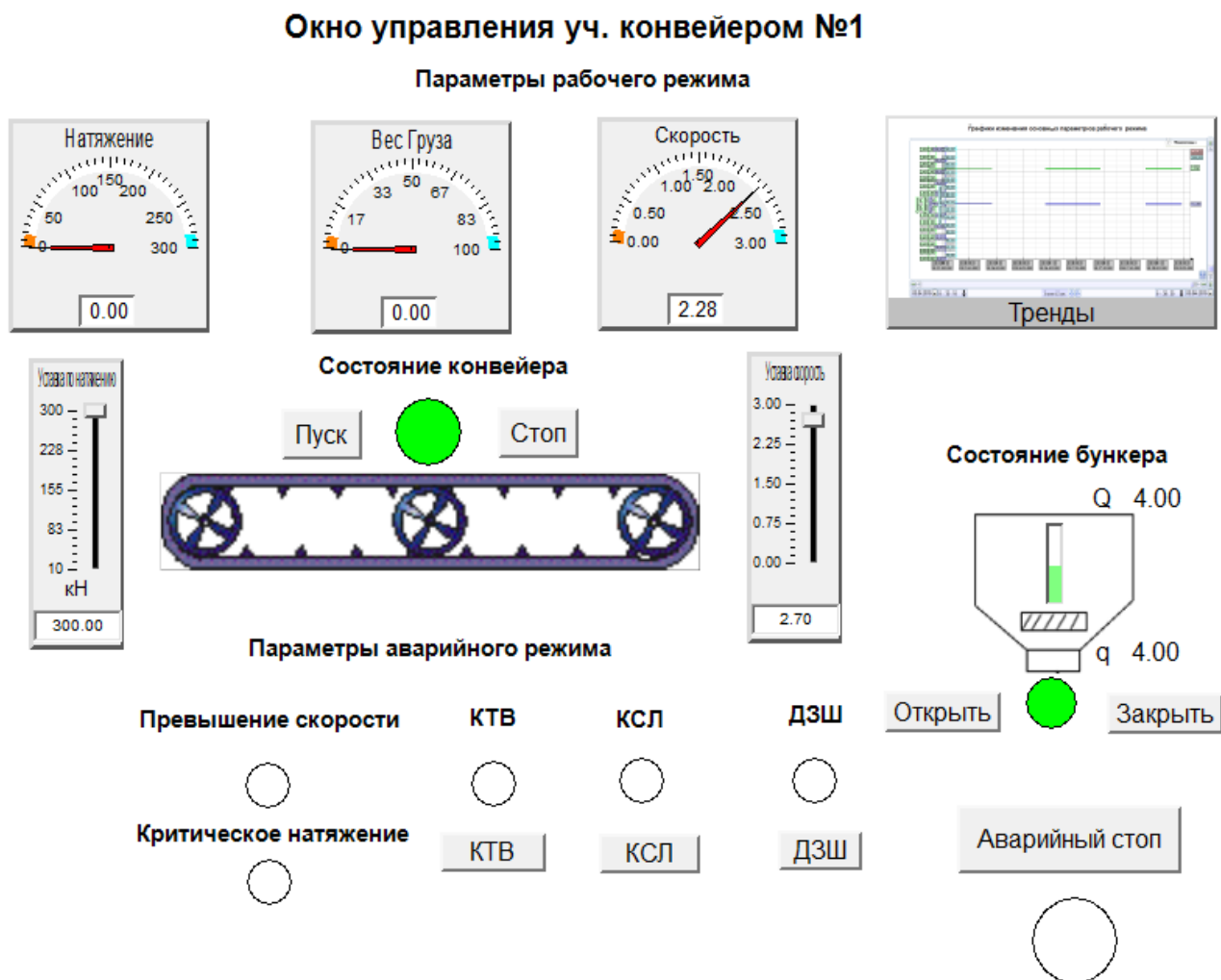


Рисунок 2 - Общий вид окна управления отдельным конвейером линии

Таким образом, в статье была предложена разработка системы диагностики и управления работой ленточной конвейерной линии, обоснована актуальность данного вопроса, произведён анализ работы конвейерной линии, сформированы задачи контроля и управления для разрабатываемой системы. Базовой аппаратурой принята система автоматизированного управления конвейерными линиями САУКЛ.

Разработанная система диагностики на базе Scada-системы выполняет поставленные ей задачи оперативного контроля и регулирования основных параметров работы ленточной конвейерной линии, что существенно повышает безопасность и эффективность транспортирования грузов. При этом система диагностики, благодаря современной элементной базе может входить в состав АСУ ТП конвейерного транспорта.

Перечень ссылок

1. Батицкий И. А., Куроедов В. И., Рыжков А. А. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в горной промышленности.- М. Недра, 1991. -303 с.
2. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта/ Стадник Н.И. и др.— К.:Техника,1992. – 234 с.
3. Пьявченко Т.А. Проектирование АСУТП в SCADA-системе: Учебное пособие. - Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. - 84 с.
4. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. Программирование ПЛК: Учебное пособие, 2004 г. - 172с.

АДАПТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Давиденко К.В., магистрант; Бутенко В.И., проф., д.т.н.

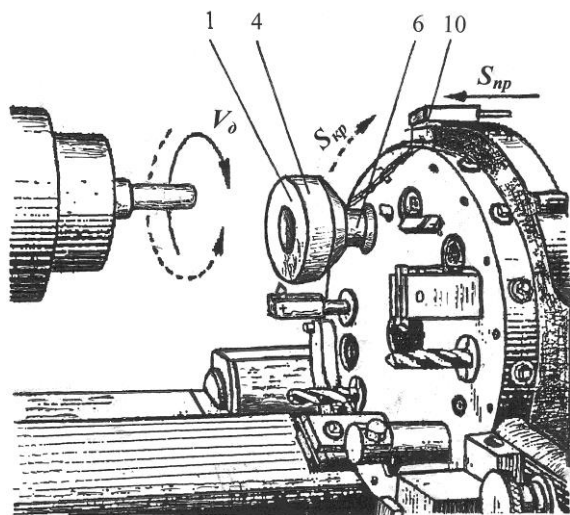
(ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Современное ремонтное производство ориентируется на достижения машиностроительной отрасли, используя эффективные технологии обработки поверхностей деталей машин и оборудование для их осуществления. Одним из основных условий для использования в ремонтном производстве разработанных в машиностроении эффективных и перспективных технологий является их доступность и малозатратность, что особенно важно для предприятий, связанных с восстановлением деталей горнодобывающего оборудования (очистных комбайнов, подъёмников, транспортёров и т.д.).

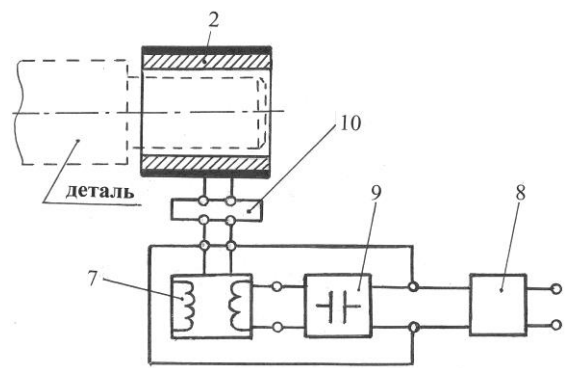
Известно, что в процессе эксплуатации в материале поверхностного слоя деталей идёт накопление механических напряжений, которые впоследствии становятся причиной их разрушения [1]. В процессе восстановления деталей при выполнении таких технологических операций, как точение, фрезерование, шлифование и т.д., этот упрочнённый слой усложняет обработку поверхности, вызывая, например, повышенный износ инструмента. С целью повышения эффективности технологических операций восстановления деталей горнодобывающего оборудования, их автоматизации разработаны методы обработки деталей из железоуглеродистых сталей с предварительным индукционным нагревом, позволяющие за счёт создания в материале поверхностного слоя волнового высокочастотного магнитного поля повысить стойкость инструмента и улучшить эксплуатационные показатели качества обработанной поверхности восстанавливаемой детали [2]. Для осуществления этих методов обработки восстанавливаемых деталей разработано и внедрено на ряде ремонтно-механических мастерских Ростовской области, занимающихся ремонтом шахтного оборудования, адаптивное устройство для индукционного нагрева деталей [3].

Общий вид устройства, установленного, например, на токарно-револьверном станке мод. 1А751Ф3, имеющем два крестовых суппорта с горизонтальным и вертикальным перемещением и оснащённым многопозиционной револьверной головкой с горизонтальной осью вращения, электрическая схема и индуктор приведены на рис. 1. Устройство содержит разъёмный индуктор 1, снабжённый набором профильных пластин из трансформаторного железа 2, кольцевой медной шины 3 с выводом контактов за пределы защитного кожуха 4 и изоляционных деталей 5. При помощи оправки 6 осуществляется установка и базирование индуктора 1 на револьверной головке станка. В электрической схеме устройства имеются трансформатор 7, генератор токов высокой частоты 8 с блоком конденсаторов 9 и коммутатор 10. Размеры сечения рабочего пространства индуктора 1 принимаются согласно соотношению $V_u = (1,3 - 1,5)V_d$, где V_u – один из размеров рабочего пространства индуктора; V_d – соответствующий ему размер обрабатываемой детали. По размеру V_u подбираются профильные пластины 2 индуктора, что позволяет настраивать устройство для нагрева конкретной детали.

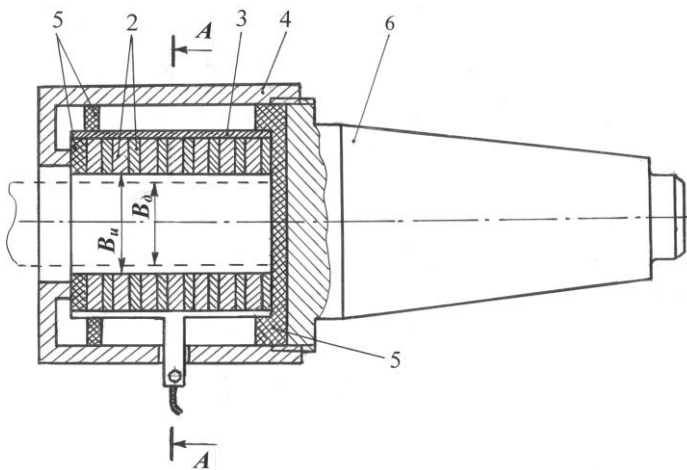
Разработанное адаптивное устройство для индукционного нагрева восстанавливаемых деталей работает следующим образом. Индуктор 1 с помощью оправки 6 устанавливается в револьверной головке токарного станка на одной из её позиций. При повороте револьверной головки с круговой подачей $S_{кр}$ и последовательном вводе в работу инструментов на одной (или нескольких) из позиций через соответствующие контакты коммутатора 10 включается индуктор 1, в который за счёт перемещения суппорта станка с продольной подачей $S_{пр}$ входит обрабатываемая деталь, вращающаяся с заданной скоростью резания V_d . Предварительно коммутатор 10 настраивается на определённое время, соответствующее



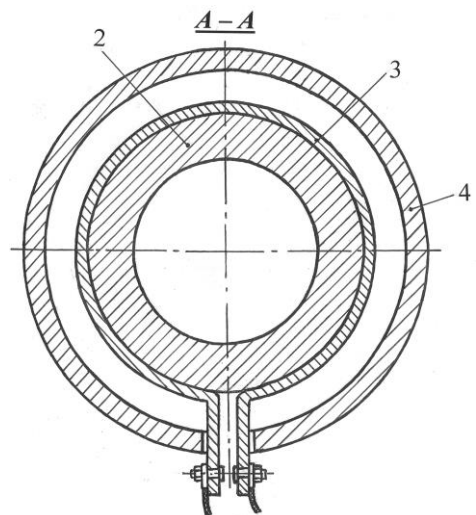
a



б



в



г

Рисунок 1 - Схема адаптивного устройства для индукционного нагрева поверхностного слоя восстанавливаемых деталей: а – общий вид устройства и установка его на станке; б – электрическая схема; в – общий вид индуктора; г – разрез индуктора

требуемой температуре нагрева восстанавливаемой детали, при достижении которой индуктор 1 выключается и при помощи суппорта вместе с револьверной головкой отводится в исходное положение; револьверная головка поворачивается на одну позицию и осуществляется обработка нагретой поверхности детали режущим инструментом (например, резцом).

Благодаря установке в индукторе 1 набора профильных пластин 2 из трансформаторного железа разной толщины, воздействие магнитного поля, создаваемого кольцевой медной шиной 3, усиливается и формируется высокочастотное волновое изменение его вдоль оси восстанавливаемой детали, вследствие чего увеличивается интенсивность индукционного нагрева детали до заданной температуры при одновременном уменьшении требуемого времени воздействия магнитного поля [4].

Производственный опыт работы ремонтно-механических мастерских по восстановлению деталей шахтного оборудования показал, что разработанное адаптивное устройство для индукционного нагрева деталей после некоторой конструктивной доработки, касающейся установки и базирования его на станке, может быть использовано на

сверлильных, расточных, фрезерных, шлифовальных, многошпиндельных станках и при очистке поверхностей. Использование устройства позволяет существенно уменьшить потери электроэнергии на предварительный нагрев восстанавливаемой детали и обеспечивает равномерное воздействие высокочастотного магнитного поля на её поверхность.

На токарно-револьверном станке мод. 1А751Ф3 были выполнены исследования по определению эффективности использования адаптивного устройства для индукционного нагрева восстанавливаемых деталей. Чистовой токарной обработке без устройства и с ним подвергались бесступенчатые валики (оси) диаметром 25 мм и длиной 220 мм из стали 35ХГСА. Точение поверхностей деталей осуществлялось резцами, оснащёнными пластинками из твёрдого сплава Т15К6 и имеющих стандартную геометрию заточки, на следующих режимах: частота вращения обрабатываемой детали $n_d = 200$ об/мин, продольная подача резца (револьверной головки) $S_{np} = 0,05$ мм/об, глубина резания $t = 0,5$ мм, без применения смазочно-охлаждающей жидкости. Эффективность обработки оценивалась по следующим показателям: стойкости резца T , параметру шероховатости обработанной поверхности Rz , величине технологических остаточных напряжений в материале поверхностного слоя $\sigma_{ост}$ и толщине слоя с изменёнными физико-механическими свойствами ΔH . Показатели Rz , $\sigma_{ост}$ и ΔH определяют эксплуатационные свойства восстанавливаемой детали.

Таблица 1 – Результаты сравнительного исследования эффективности обработки

Способ обработки детали	Показатели эффективности обработки			
	T , мин	Rz , мкм	$\sigma_{ост}$, МПа	ΔH , мм
без предварительного нагрева	32	16,9	320	0,34
с предварительным нагревом	54	12,1	280	0,25

Результаты исследования приведены в табл. 1, из анализа которой следует, что использование разработанного адаптивного устройства для индукционного нагрева деталей обеспечивает повышение стойкости инструмента в 1,7 раза, уменьшение параметра шероховатости Rz на 28%, снижение величины технологических остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ на 15% и уменьшение толщины слоя с изменёнными физико-механическими свойствами ΔH почти в 1,3 раза. В совокупности такие результаты состояния поверхностного слоя позволяют увеличить ресурс восстанавливаемых деталей горнодобывающей промышленности на 30 – 50%. Предложенное адаптивное устройство для индукционного нагрева детали может легко встроено в автоматическую линию обработки или восстановления деталей в любом типе производства.

Перечень ссылок

- 1.Блюменштейн В.Ю. Механика технологического наследования как научная основа проектирования процессов упрочнения деталей машин поверхностным пластическим деформированием / В.Ю. Блюменштейн // Новые материалы в машиностроении: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск: изд-во БГТУ, 2005. – Вып. 6. – С. 7 – 12.
- 2.Бутенко В.И. Влияние предварительного индукционного нагрева на эффективность чистового точения деталей из железоуглеродистых сплавов / В.И. Бутенко // Вестник БГТУ. - № 6. – 2018. – С. 4 – 10.
3. Патент РФ № 2679861 МПК В23В 25/00 Устройство индукционного нагрева при обработке поверхности детали резанием / В.И. Бутенко. – Бюлл. №5, 2019.
4. Ганиев Р.Ф. Волновые технологии и машины – фундаментальная основа инновационного развития машиностроения / Р.Ф. Ганиев // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: науч. тр. II Междунар. науч. конф. – М.: ИМАШ РАН, 2012. – С. 11 – 18.

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ И СТАБИЛИЗАЦИИ КАВИТАЦИОННОГО ЗАПАСА НАСОСНОГО АГРЕГАТА ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА

Двойнишникова Е.А., студ.; Гавриленко Б.В., проф., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Откачка воды из шахты относится к основному технологическому процессу функционирования горного предприятия, эффективность работы которого связана с обеспечением добычи угля и созданием безопасных условий труда горнорабочих.

Непостоянство эксплуатационных характеристик водоотливной установки приводит к выходу рабочего режима насосного агрегата из зоны промышленного использования и увеличению затрат электроэнергии. Следует также отметить возникновение аварийных режимов работы насосного агрегата при нарушении целостности напорного трубопровода, гидравлических ударах, разгерметизации подводящего жидкость трубопровода и др. В ряде случаев это приводит к изменению кавитационного запаса работающего насосного агрегата и возникновению режима кавитации [1].

Кавитация возникает на входе жидкости в рабочее колесо и приводит к нарушению режима работы водоотливной установки, преждевременному износу рабочего колеса, ухудшению внутренней поверхности подводящего трубопровода и изменению коэффициента гидравлического сопротивления.

Эффективный контроль за возникновением и развитием кавитации возможен путем оценки физических характеристик упругих колебаний в жидкости при изменении ее объемного газосодержания.

Скорость распространения упругих колебаний в жидкости зависит от ее газосодержания, которое в свою очередь определяется количеством и размером пузырьков газа при кавитации [2]:

$$C_{ж} = \frac{\sqrt{1 + D \cdot \frac{\gamma \rho_{г}}{\gamma \rho_{ж}} \cdot \pi \cdot \nu^2 \cdot (7\pi^2 \cdot \rho_0 \cdot V_0^2 \cdot \nu^2 + 2\eta_c \cdot C_0)}}{0,8 \cdot \rho_0^2 \cdot C_0^4 \cdot \left(\exp\left(-\sqrt{\frac{\pi \cdot \nu \cdot \rho_0}{\eta_c}}\right) \right)}, \quad (1)$$

где: D – параметр кавитации, $D = \frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{\Delta V - V_0}{V_0}$,

ΔV – приращение объема вследствие кавитации;

$\frac{\Delta V - V_0}{V_0}$ – относительное газосодержание;

$\gamma \rho_{г}, \gamma \rho_{ж}$ – соответственно сжатие парогазовой смеси и жидкости;

ν – собственная частота упругих колебаний в кавитирующей жидкости;

ρ_0 – плотность жидкости;

η_c – вязкость исследуемой среды;

C_0 – скорость ультразвука в жидкости.

Анализ выражения (1) показывает, что при малой концентрации пузырьков газа в жидкости, их влияние на скорость распространения упругих колебаний в жидкости практически не проявляется, а при увеличении газосодержания на 1%, скорость распространения упругих колебаний в диапазоне значений параметра кавитации 0,02...0,03, уменьшается более, чем в два раза.

Для поддержания нормального режима работы насосного агрегата в случае возникновения кавитации разработано устройство защиты и стабилизации кавитационного запаса, функциональная схема которого приведена на рис. 1. Принцип действия устройства основан на измерении уровня кавитации во всасывающем трубопроводе путем сравнения скорости ультразвука в кавитирующей и обычной жидкости с последующим формированием управляющего воздействия для регулирования кавитационного запаса работающего насосного агрегата [3].

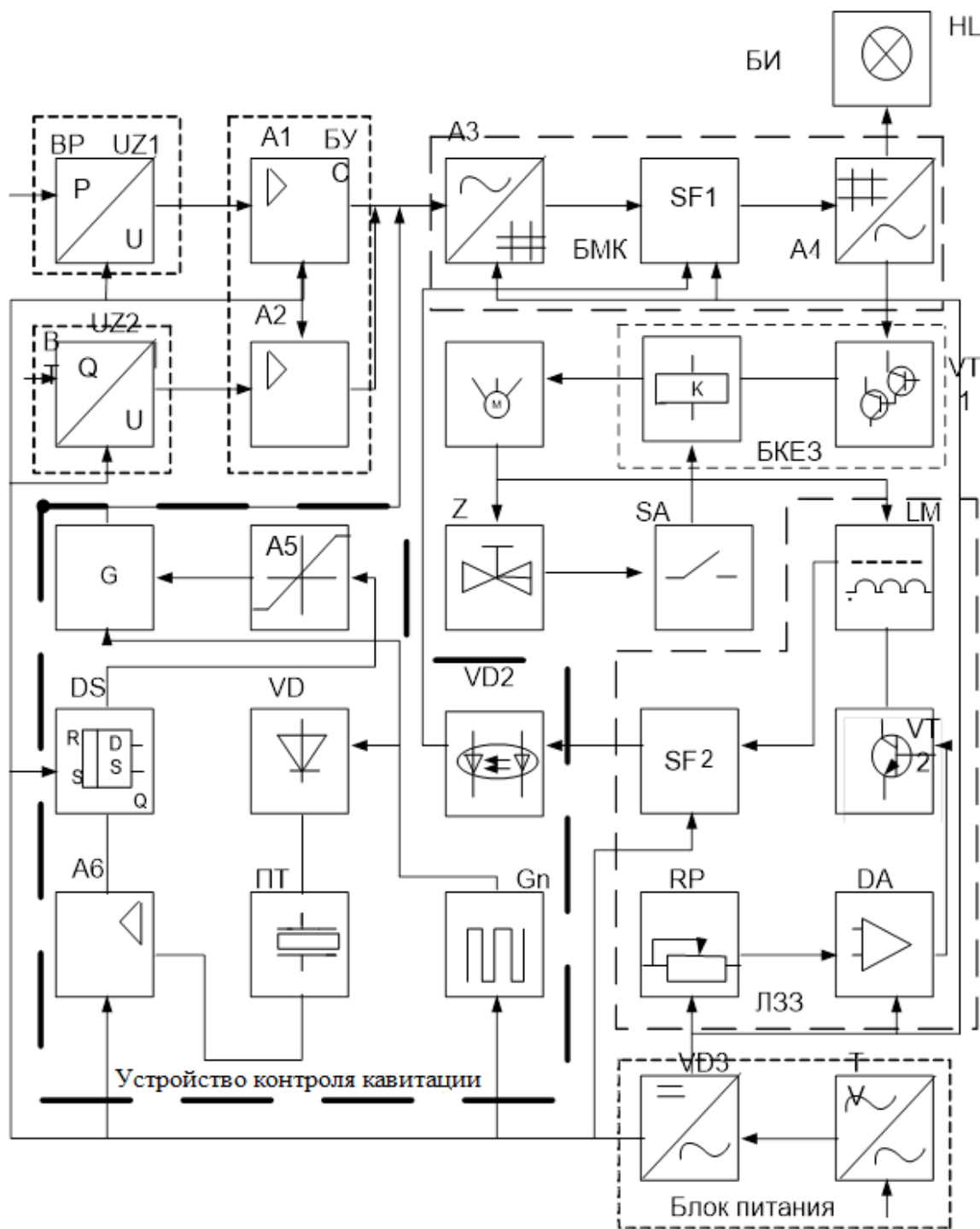


Рисунок 1 - Функциональная схема устройства защиты шахтной водоотливной установки от кавитационных режимов работы

Для регулирования кавитационного запаса работающего насосного агрегата используются измерительные преобразователи давления ВР и расхода ВQ, которые устанавливаются на подводящем и нагнетательном трубопроводах насосного агрегата.

Устройство контроля кавитации состоит из генератора фиксированной частоты Gп, защитного диода VD, пьезоэлектрический преобразователь ПТ, операционного усилителя А6, триггерной схемы DS, сигнал с которой подается на ограничитель амплитуды А5 и на вход мостовой измерительной схемы, функции которой выполняет элемент сравнения G.

С кварцевого генератора Gп импульсы возбуждения фиксированной частоты поступают в пьезоэлектрический преобразователь ПТ, выход которого подключен к входу широкополосного импульсного усилителя А6. После усиления сигнал поступает на соответствующий вход триггерной схемы DS. Импульсы с выхода триггерной схемы поступают в ограничитель амплитуды А5 и, далее в мостовую измерительную схему G, в которой осуществляется сравнение напряжений с выхода генератора и с выхода ограничителя амплитуды. При постоянстве амплитуды сигнала и частоты кварцевого генератора в диагонали мостовой схемы создается ток разбаланса, зависящий от длительности импульсов с выхода пьезоэлектрического преобразователя. Сигнал разбаланса с выхода мостовой измерительной схемы поступает в блок пороговых элементов, в котором по величине тока уставки и амплитуде тока разбаланса задаются пороговые значения интенсивности кавитации во всасывающем трубопроводе. Выходной сигнал блока управления приводом заслонки БКЕЗ формирует управляющий сигнал на продолжение работы насоса или на включение привода заслонки нагнетательного трубопровода при возникновении кавитации. Устройство определяет порог уставок интенсивности кавитации в соответствии с текущими режимами работы насосного агрегата и осуществляет индикацию об их достижении в блоке индикации БИ. Блок согласования сигналов преобразователей давления и расхода БСС содержит масштабные усилители А1 и А2. Блок микроконтроллера БМК входит логическая схема SF1, аналого-цифровой А3 и цифро-аналоговой А4 преобразователи. Цепь обратной связи по углу поворота заслонки состоит из операционного усилителя DA, управляющего работой транзистора VT2. Транзистор VT2 включен в цепь питания магнитно-индукционного датчика LM однополупериодным током. Магнитно-индукционный датчик LM служит для измерения угла поворота управляемой заслонки Z. Сигнал с датчика LM через магнитно-чувствительную микросхему SF2 и оптопару VD2 поступает в блок микроконтроллера. Цифроаналоговый преобразователь А4 управляет транзистором VT1, который коммутирует цепи исполнительного реле К. Контакт исполнительного реле К включен в цепь управления промежуточного реле пускателя ПРА привода управляемой заслонки М.

В устройстве формируется и хранится информация о производительности и режимах работы насосного агрегата, интенсивности кавитации и давлении во всасывающем трубопроводе, текущем положении заслонки на нагнетательном трубопроводе.

Применение устройства защиты и стабилизации кавитационного запаса позволяет ограничить непроизводительную работу насосных агрегатов шахтного водоотлива, снизить затраты электроэнергии и повысить эксплуатационный ресурс.

Перечень ссылок

1. Гейер В.Г. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. - М.: Недра, 1987. – 270 с.
2. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука. – Л.: ЛГУ, 1980. – 280 с.
3. Гавриленко Б.В., Двойнишникова Е.А., Дубинин С.В. Устройство защиты шахтной водоотливной установки от кавитационных режимов работы/ Горная энергомеханика и автоматика//Материалы XVIII Международной научно-технической конференции, Донецк: ДонНТУ, 2018. – С. 15-20.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ОБРАТНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТОКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ – КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЗАЩИТНОГО ОБЕСТОЧИВАНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТИ УЧАСТКА ШАХТЫ

Дубинка Е.С. аспирант, Маренич К.Н., д.т.н., профессор

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Электротехнический комплекс технологического участка угольной шахты отличается совокупностью асинхронных двигателей потребителей и нестационарностью расположения оборудования. Это обуславливает необходимость применения разветвленной сети гибких кабелей. Однако конструкция таких кабелей не имеет никаких компонентов, препятствующих их механическому повреждению, что может вызвать появление аварийных и опасных состояний, таких как междуфазное короткое замыкание и опасность электропоражения, это тем более актуально применительно к эксплуатации в условиях шахты.

Потенциальные опасности эксплуатации шахтной участковой электросети хорошо известны и в связи с этим предусмотрен целый комплекс защит, прежде всего от коротких замыканий, утечек тока на землю, токовых перегрузок АД, некоторые из которых дублируются, однако общим является то, что все указанные защиты воздействуют на коммутационные аппараты, отключающие энергетический поток питающей трансформаторной подстанции, и тем самым они выполняют функцию защитного отключения электросети участка шахты [1,2]. Однако в настоящее время на шахтах применяется всё более мощное электромеханическое оборудование, и тенденция к повышению мощностей сохраняется, а это значит, что после защитного отделения от электросети участка шахты энергетического потока трансформаторной подстанции данная сеть всё равно будет находиться некоторое время под напряжением, формируемым обратными энергетическими потоками электрических машин, переходящих в состояние выбега. Это дает основание утверждать о недостаточности функции автоматического защитного отключения, поскольку в мощных электрических сетях опасные состояния будут сохраняться и последствия аварии отягощаться. Это подтверждается многочисленными исследованиями, в частности, на рис. 1 приведена диаграмма изменения количества электричества в цепи утечки тока на землю с учетом воздействия обратных ЭДС мощного асинхронного двигателя.

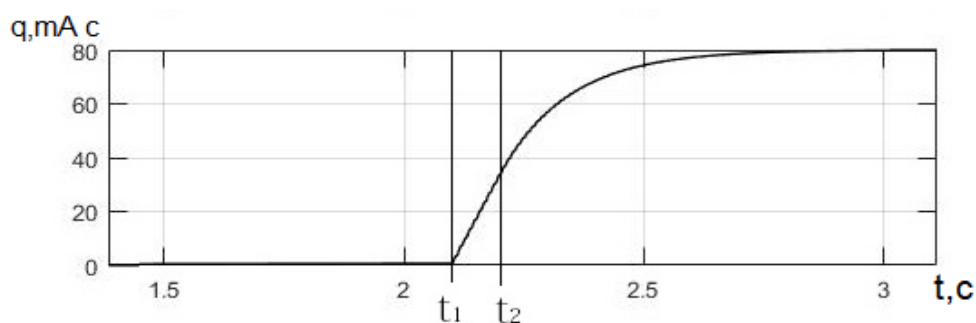


Рисунок 1 - Диаграммы моделирования ЭДС вращения двигателей (для одной фазы) разомкнутой сети

Мы видим, что после защитного отключения нормируемый показатель $50 \text{ мА} \cdot \text{с}$ существенно превышает. Такие же негативные последствия установлены и в отношении процессов, обусловленных междуфазным коротким замыканием.

Попытка решения задачи подавления обратного энергетического потока АД была предпринята при создании системы защитного опережающего отключения электрической сети [3]. Однако, рассматриваемый коммутационный аппарат является подчиненным к устройству защит и работает не самостоятельно, а только после его срабатывания. Применение подобной схемы сопряжено с одной стороны, с вероятностью ложного

срабатывания короткозамыкателя, а с другой стороны информационный сигнал от аппарата защит может не доходить до коммутационного аппарата при повреждении кабеля.

Эффективным техническим решением, позволяющим выявить аварийное состояние питающего кабеля в автономном режиме, является концептуальная схема, рассчитанная на самые массовые проявления аварийных процессов [4]. Данная схема (рис.2) позволяет выполнять функцию выявления повреждения кабеля в автономном режиме со стороны двигателя. В то же время возможны крайне маловероятные аварийные состояния, связанные с мгновенным трехфазным коротким замыканием в кабеле, в связи с чем данное техническое решение было усовершенствовано на основе применения источника постоянного оперативного напряжения последовательно в цепи оперативного тока (рис. 3). Исследования подтвердили работоспособность данного устройства (рис. 4).

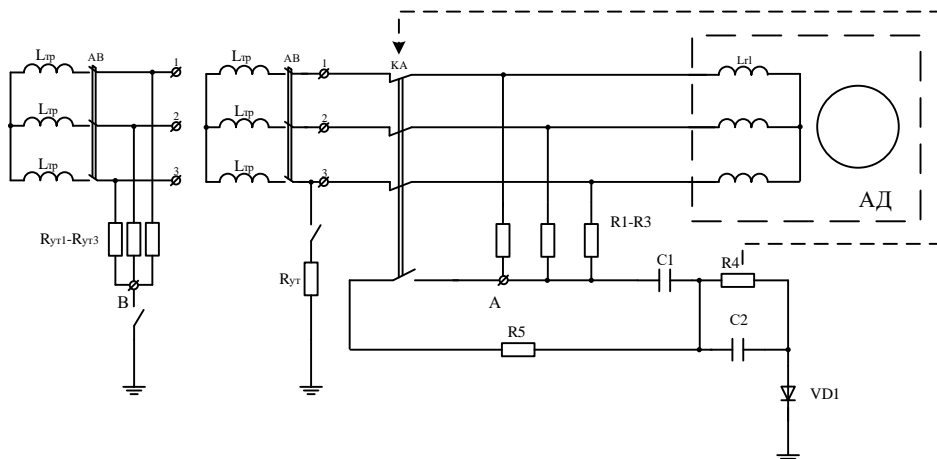


Рисунок 2 - Иллюстрация вывода об ограничении функциональности схемы выявления аварийного состояния кабеля по источнику

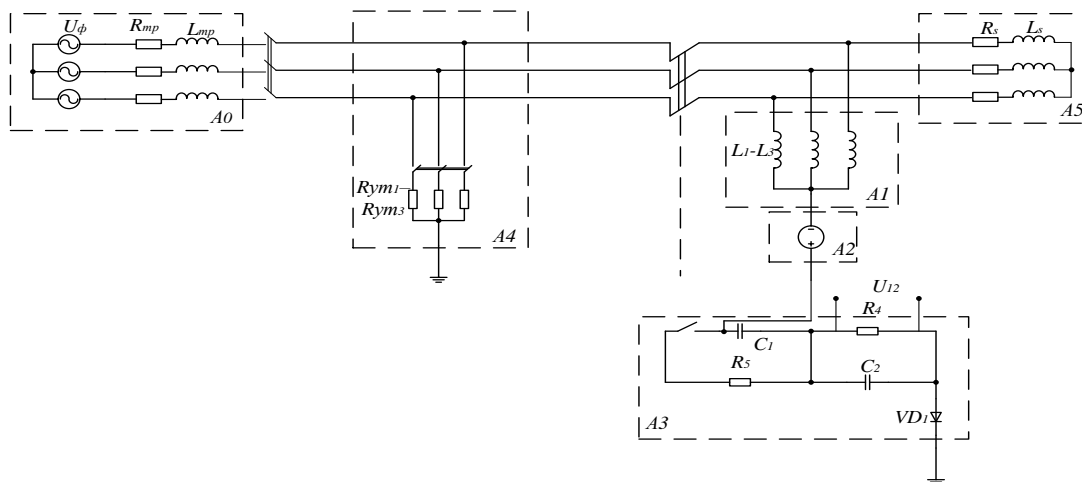


Рисунок 3 - Расчетная схема автономно действующего устройства определения повреждения силовой цепи электропитания асинхронного двигателя, реагирующего на мгновенное трёхфазное замыкание на землю

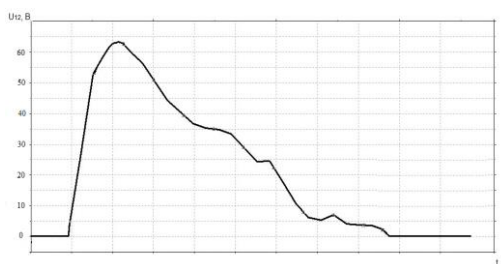


Рисунок 4 - Напряжение на контролируемом резисторе R4 при возникновении цепи мгновенного контакта трёх фаз сети на контур «земля»

Таким образом, решена задача выявления аварийного состояния кабеля электропитания асинхронного двигателя техническим средством, подключенным со стороны статора указанной электрической машины, действующим автономно и не связанных информационно ни с одной из штатных защит, функционирующих со стороны питающей подстанции. В связи с этим возникает необходимость разработки компактного исполнительного устройства подавления обратного энергетического потока АД, адаптированного к условиям эксплуатации в шахте. Исследования выявлено, что эффективным способом подавления обратной ЭДС является управление электромагнитным состоянием машины, например, создание цепи к.з. в дополнительной отключенной обмотке статора [5].

Определенными техническими противоречиями, связанными с реализацией данного способа, является необходимость изменения конструкции двигателя, в то же время этот способ можно применить для двухскоростных машин. В результате закорачивания дополнительной обмотки двухскоростного двигателя, будет создан эффект увеличения тока и падения напряжения в рабочей обмотке, что косвенно обусловит снижение обратной ЭДС воздействующей на электросеть участка шахты. результаты исследований подтверждают достижение положительных результатов в контексте снижения энергетических показателей в сети после её защитного отключения.

Помимо рассмотренных технических средств, создающих эффект интенсивного повышения тока и потери напряжения в цепи статора двигателя с целью воздействия на его электрические параметры в режиме выбега подобный эффект может быть получен и в случае реализации индукционно-динамического торможения асинхронной машины (рис. 5 – рис. 6).

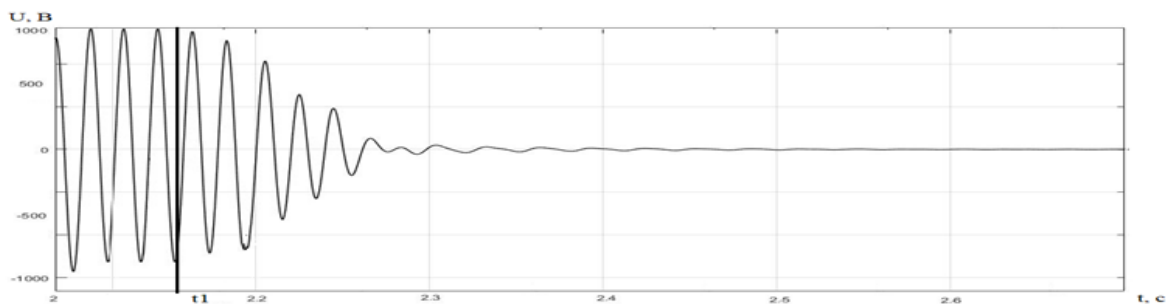


Рисунок 5 - Диаграмма напряжения статора АД типа ЭКВ 4-250 на интервале перехода из двигательного режима в режим ИДТ

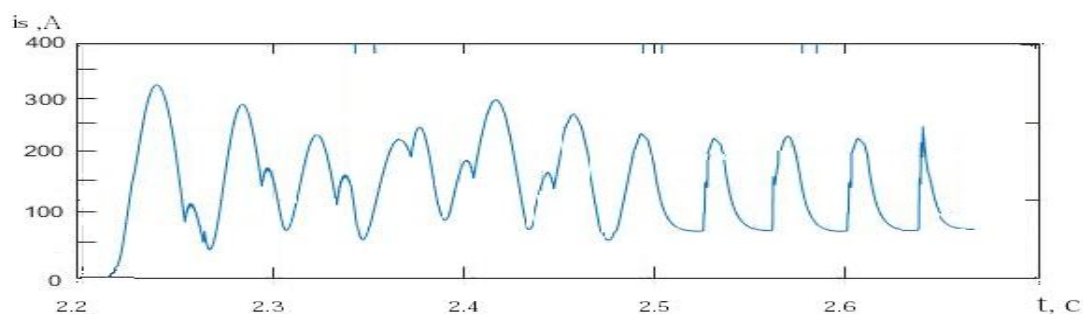


Рисунок 6 - Диаграмма тока статора АД типа ЭКВ4-250 при ИДТ

Известно, что величина и продолжительность существования обратной ЭДС зависит от электромагнитных параметров машины (I и r) и от скорости вращения ротора, т.е. если ускоренно замедлять ротор, ЭДС прекратит своё существование, сразу же после остановки ротора. Проведенными исследованиями установлен положительный токоограничивающий эффект в результате применения индукционно динамического торможения асинхронного двигателя потребителя как средства подавления его обратного энергетического потока на интервале времени после защитного отключения напряжения питания электротехнического комплекса технологического участка шахты (рис.7 - рис.8). Следовательно, ИДТ АД как средство подавления обратной ЭДС асинхронной машины целесообразно.

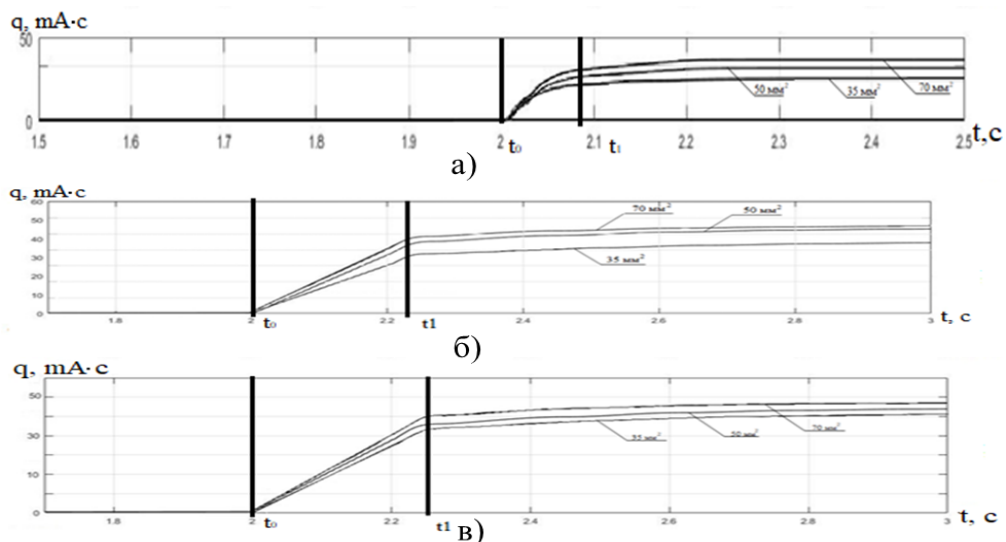


Рисунок 7 – Диаграммы величин накопления количества электричества через сопротивление цепи утечки тока на землю ($R_{ym} = 1 \text{ кОм}$) для кабелей марки КГЭШ сечением 35мм^2 , 50мм^2 и 70мм^2 при величине угла отпирания тиристора VS1: а) $\alpha = 30$ эл. град. б) $\alpha = 45$ эл. град. в) $\alpha = 60$ эл. град.

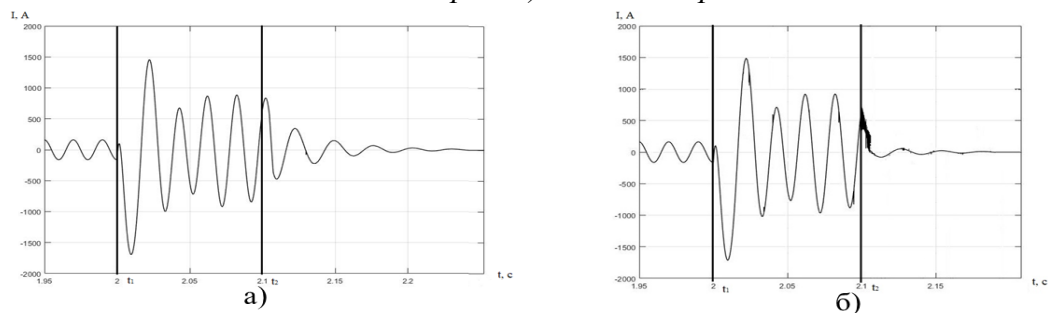


Рисунок 8 – Диаграммы тока в цепи трехфазного к.з. (в питающем кабеле) а) без учёта эффекта ИДТ; б) с учётом эффекта ИДТ АД в точке А1 (рис. 7): t_1 – начало аварийного процесса; t_2 – отключение коммутационного аппарата, начало процесса ИДТ

Таким образом, комплексно решена задача автоматического защитного отдаления от сети обратного энергетического потока АД на основе создания автономно действующих устройств выявления аварийного состояния и исполнительных устройств. Действуя совместно с комплексом автоматического защитного отключения такие устройства позволяют создать эффект автоматического защитного обесточивания шахтной участковой электрической сети в момент возникновения её аварийного либо опасного состояния и не подвергать сеть воздействию обратных энергетических потоков АД после её защитного отключения.

Перечень ссылок

1. Риман, Я.С. Защита подземных электрических установок угольных шахт / Я.С. Риман. – М.: Недра, 1977. – 206 с.
2. Колосюк, В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок / В.П. Колосюк. – М.: Недра, 1980. – 334 с.
3. Шишкин, Н.Ф. Быстродействующая защита от токов утечки на землю в сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В / Н.Ф. Шишкин. – М.: ИГД, 1960. – 50 с.
4. Патент на винахід 95757 (UA), МПК (2006.01) H02H 3/10 H02H 7/08 Пристрій захисту від впливу асинхронного двигуна на точку короткого замикання в кабелі живлення / К.М. Маренич, І.В. Ковальова, І.О. Лагута, С.В. Василець. – а 2010 13816. Заявл. 22.11.2010. Опубл. 25.08.2011. Бюл. №16.
5. Дубинка, Е.С. Управление электромагнитным состоянием асинхронной машины как способ ограничения параметров обратного энергетического потока / Е.С. Дубинка, К.Н. Маренич // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 39–47

КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТЫ КАК НОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

Карпов В.С., студ.; Полтавец В.В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Промышленные роботы традиционно выполняют свои рабочие функции в участках рабочего пространства производственных помещений (клетках, ячейках), огороженных так, чтобы исключить присутствие в них человека по соображениям безопасности. Вместе с тем существует множество ситуаций, когда использование огороженной клетки или ячейки невозможно или является нежелательным по организационным или техническим причинам.

Для таких случаев выдвинута концепция, подразумевающая, что роботы и люди работают вместе, «рука об руку», причем в безопасных для человека условиях. В рамках этой концепции применяются требования международного стандарта ISO 10218, в котором понятие «Коллаборативность» определено так: «Состояние, в котором специально разработанный робот работает в прямом взаимодействии с человеком в определенной рабочей зоне» (рис. 1). В данном случае речь не идет о том, что все роботы должны соответствовать требованиям этого стандарта, это требование выдвигается лишь для класса роботов, которые принято называть коллаборативными роботами (сокращенно – коботами).



Рисунок 1 – Внешний вид коллаборативного робота

Коллаборативные роботы являются элементом коллаборативной робототехники, под которой подразумевается процесс работы, когда автоматизированная робототехническая система взаимодействует с человеком в одном общем рабочем пространстве. Таким образом, коллаборативная робототехника в большей степени относится к производственной системе или прикладной области, нежели к конкретному типу или производителю роботов. Уточним, что разница между робототехнической системой и отдельным промышленным роботом заключается в том, что последний не включает в себя исполнительное устройство, то есть инструмент в руке робота, который непосредственно производит действия с объектом [1].

Вследствие внедрения новых технологий растет потенциал безопасного сочетания мощности и точности роботов с творческими и интеллектуальными способностями человека. Это может значительно увеличить производительность робототехнических систем [1].

«В 2008 г. коботы вызывали не более чем простое любопытство и воспринимались как нечто фантастическое. В 2012 г. на них смотрели как на экзотику, причуду, которую некоторые производители могут себе позволить для улучшения имиджа» [2]. Но уже через год отношение к ним в среде производителей изменилось – их стали воспринимать как полноценное средство производства и оценивать целесообразность их применения в тех или иных областях технологического процесса. Что касается настоящего времени, отмечается [2], что «коллаборативные промышленные роботы уже вошли в производственный процесс и прочно там закрепились. Причем их работа на производстве настолько эффективна, что многие предприятия считают, что за ними будущее в сфере автоматизации производства».

Аналитики из ABI Research дают прогноз, что к 2020 г. рынок коллаборативной робототехники вырастет до \$1 млрд, а в целом в промышленности будет эксплуатироваться более 40000 коллаборативных роботов. Вместе с этим, по мере роста популярности коботов также возрастает степень важности решения такой технической проблемы, как обеспечение должного уровня техники безопасности при применении этих специфических роботов.

Одной из самых ожидаемых специалистами технических спецификаций в области безопасного использования коллаборативной робототехники был её релиз, выпущенный в феврале 2016 г. – стандарт ISO/TS 15066:2016 «Robots and robotic devices – Collaborative robots» (в официальном русском переводе: ISO/TS 15066:2016 «Роботы и роботизированные устройства. Объединенные роботы»). Этот стандарт является международным руководством по безопасности работы коллаборативных систем и дает подробное, основанное на реальных числах наставление, которое необходимо разработчикам, интеграторам и пользователям, работающим в сфере проектирования и использования коллаборативной робототехники.

ISO/TS 15066:2016 предоставляет методические рекомендации по проектированию и внедрению в производство коллаборативных рабочих мест, на которых люди работают совместно с роботами с минимальным риском. В состав стандарта входят такие разделы [1]:

- Основополагающие определения.
- Важные параметры систем управления безопасностью.
- Факторы, которые необходимо принять во внимание при проектировании коллаборативных робототехнических систем.
- Требования по встроенным системам, относящимся к безопасности, и их эффективное использование.
- Руководство по внедрению следующих коллаборативных методик: управляемое отключение в зависимости от рейтинга безопасности; ручное управление; мониторинг скорости и расстояния между роботом и человеком; ограничения по мощности и силе давления.

С появлением стандарта ISO/TS 15066:2016 традиционные ограждения и защитные устройства, разделяющие рабочие пространства людей и роботов, могут больше не применяться для некоторых ограниченных по мощности процессов, реализованных в соответствии с более ранними версиями стандарта ISO 10218-1 и ISO 10218-2. Техническая спецификация включает данные по результатам изучения порогов чувствительности разных частей человеческого тела, что может быть использовано для разработки и внедрения коллаборативных робототехнических систем с ограничением по мощности и силе.

Важной технической задачей, решаемой для обеспечения совместной работы человека и робота, является мониторинг скорости и контроль разделения пространства. В подобных системах поддерживается минимальное безопасное расстояние между работником и частями робототехнического комплекса во избежание контакта. Для этого в робототехническую систему встраивается защитное устройство, чувствительное к присутствию человека. Таким образом, «при совместной работе робот будет отодвигаться или иными словами «танцевать» с человеком на расстоянии. То есть, если вы сделаете шаг в сторону робота, то он

переместится на шаг назад» [2]. Исходя из этого, предложены подробные рекомендации по максимально разрешенным скоростям и минимальным расстояниям в разделенном пространстве. Стандарт ISO/TS 15066:2016 создает предпосылки для конструкторских работ, направленных на развитие конструкций и технологий защитных устройств, равно как и на создание и использование материалов для смягчения физического контакта, улучшенных датчиков, продвинутого управления движениями и других инноваций [3].

Даже когда робототехническая система не совершает движений, человек теоретически может находиться в зоне расположения робототехнического комплекса, так что для минимизации негативных воздействий оборудования в статичном состоянии на человека разработчики стандарта внесли ограничения на острые края и выступы.

В соответствии с требованиями стандарта ISO/TS 15066:2016 для обеспечения безопасного контакта с людьми в компании General Electric были специально разработаны роботы, имеющие определенные ограничения по мощности и максимальному усилию. Такие роботы нашли применение в производстве электротехнических изделий, что связано, в первую очередь, с проблемами в различиях физических характеристик применяемых при этом материалов. Например, при сборке выключателей или осветительных приборов используются провода и гибкие проводные материалы, которые очень трудно обрабатывать в сборочном производстве. Перед специалистами Центра глобальных исследований в области автоматизации компании General Electric встал вопрос, как автоматизировать ручной процесс сборки для обработки настолько разных по механическим свойствам деталей [2]. Решение было найдено в применении на сборочных линиях совместной работы людей и коботов.

Коботы применяются на ряде предприятий, например, GE Lighting, выпускающем светотехническую продукцию в компании General Electric. При этом безопасность работы коллаборативного робота обеспечивается либо встроенными системами безопасности, либо системами управления всего комплекса. Коботы преимущественно изготавливаются из легких конструкционных материалов, имеют меньшую мощность создаваемого усилия и меньший крутящий момент в сочленениях, а также могут также иметь мягкие накладки или покрытия, предотвращающие травматизм при непосредственном контакте с телом человека.

В соответствии с гармонизированными стандартами безопасности роботов ANSI/RIA 15.06 «Industrial Robots and Robot Systems – Safety Requirements», ISO 10218 «Robots for industrial environments – Safety requirements») и упомянутым ранее стандартом ISO/TS 15066:2016, существует четыре подхода к безопасной совместной работе робота с человеком:

- контролируемый останов для безопасности работы человека;
- ручное управление роботом;
- мониторинг скорости и величины сближения с человеком;
- ограничение по мощности прикладываемого усилия и моменту силы.

Перечисленные подходы касаются наиболее проблемных аспектов взаимодействия человека и робота. Каждый из четырех методов совместной работы рассматривается как часть общего сценария работы, а не как оторванные друг от друга отдельные подходы.

Рассмотрим эти четыре метода более подробно. В каждом случае робот и его оператор (человек) находятся в общем рабочем пространстве. При подходе с контролируемой безопасностью путем останова исходным положением разработчика является то, что в таком пространстве робот или его манипулятор вообще не должен двигаться. Относительно ручного управления многие специалисты считают, что этот метод используется только для обучения. Однако, для кобота – это не тот случай, когда оператор перемещает манипулятор робота, чтобы научить его решать конкретные задачи, это не известное ручное управление в режиме обучения робота: при обучении робот не работает в автоматическом режиме. Когда для описания совместной работы используется понятие «ручное управление», это означает, что робот и человек занимают общее разделяемое пространство, но робот движется только тогда, когда он находится под непосредственным управлением оператора (человека) [2].

В режиме мониторинга скорости и сближения как робот, так и человек могут свободно передвигаться в общем рабочем пространстве. Но как только расстояние между роботом и

человеком становится критически малым, робот останавливается, т. е. фактически в этом случае используется первый сценарий (контролируемый останов безопасности). В режиме ограничения мощности усилия и момента силы можно допустить прямой контакт между человеком и роботом. То, как осуществляется это ограничение, зависит как от особенностей сферы применения робота, так и от реализации конструктивного исполнения робота. Это подразумевает, что при прямом контакте элементов робота с человеком не должно быть риска ни нанесения ему травматических повреждений, ни даже просто причинения боли.

Стандарт ISO/TS 15066:2016 содержит расчетные формулы для определения безопасного предельно допустимого расстояния при мониторинге скорости перемещения робота или его манипулятора и контроле сближения этих элементов с человеком.

В выборе методов обеспечения безопасности нет каких-либо жестких требований. Можно использовать любое сочетание четырех указанных выше методов совместной работы в общей зоне роботизированной системы или даже одновременную композицию их всех.

Сточки зрения конструктора – разработчика робототехнических систем – одной из наиболее интересных частей технических требований стандарта является приложение, в котором содержатся указания о том, как установить предельные уровни, т. е. выбрать допустимые значения болевых порогов для различных частей тела. Это особенно важно учитывать при разработке и использовании рабочих элементов и их функциональных действий с ограничением по мощности усилия и моменту силы. Затем полученные данные уже могут быть экстраполированы для определения ограничений по скорости перемещения.

«Хотя в рассматриваемом стандарте есть информация об особенностях всех четырех режимов совместной работы человека и робота в общем пространстве, но наиболее интересными для нас являются данные по роботам, для которых требуются определенные ограничения по мощности усилия и моменту силы», отмечает Жан-Филипп Джобин (Jean-Philippe Jobin), технический директор компании Robotiq, производителя адаптивных захватов для коллаборативных роботов. По его мнению, «сейчас мы видим все больше таких роботов на рынке, а раньше у нас не было четких указаний, чтобы помочь людям безопасно установить и использовать эти роботы на предприятиях» [4].

Основой для любой совместной интеграции роботов является оценка потенциальных рисков. Если в производстве требуется немного большее усилие или момент силы, чем указано в ограничительном документе, это не говорит об их небезопасности. Данные, которые приведены в этой технической спецификации, относятся к болевым эффектам, а по стандарту ISO 10218 требуется, чтобы не было повреждений (травм). Если воздействия будут несколько превышать требования ISO/TS 15066:2016, пользователь может сам провести комплекс испытаний и потом по их результатам доказать, что работа оборудования будет безопасной и робот не сможет нанести травму и даже причинить недопустимую боль людям в определенных режимах и условиях применения конкретного робота.

Перечень ссылок

1. Lazarte, Maria. Robots and humans can work together with new ISO guidance / Maria Lazarte. – International Organization for Standardization/ News archive/ 8 March 2016. – Режим доступа: <https://www.iso.org/news/2016/03/Ref2057.html>.

2. Анандан, Тая М. Роботы и люди: безопасное сотрудничество / Тая М. Анандан (Tanya M. Anandan), перевод: Владимир Рентюк // Control Engineering Россия. – 2017. – № 6 (72). – С. 46-49.

3. Климчик, Александр. Коллаборативная робототехника: перспективы и реальность / Александр Климчик // Материалы 5-й международной выставки-конференция Robotics Expo 25-26 ноября 2017 г., г. Москва, КВЦ «Сокольники». – Режим доступа: <https://robot-ex.ru/ru/article/intervyu-s-glavoy-laboratorii-intellektualnih-robototekhnicheskikh-sistem-universiteta-innopolis-79395>.

4. Блог Жана-Филиппа Джобина. – Режим доступа: <https://blog.robotiq.com/author/jean-philippe-jobin>.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ СУШКИ СТАЛЬ-КОВШЕЙ

Кобзев В.В., студ.; Неежмаков С.В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

На участке машины непрерывного литья заготовок происходит разливка жидкой стали из промежуточного ковша. Жидкий металл поступает в промежуточный ковш через шиберное отверстие со сталеразливочного ковша. Перед эксплуатацией сталеразливочного ковша требуется его подготовить, поскольку температура стали после обработки на установке ковш-печь колеблется от 1500 °С до 1600 °С [1].

Без предварительной подготовки конструкция сталеразливочного ковша начнет деформироваться под действием высокой температуры либо образуются трещины из-за разницы температур. Перед приемом жидкой стали сталеразливочный ковш футеруют огнеупорным жаростойким кирпичом определенной марки, в зависимости от конструкции ковша. Затем футеровку требуется высушить согласно технологии. Для этого предназначена установка сушки сталеразливочного ковша. Установка обеспечивает сушку сталеразливочных ковшей с различной футеровкой как дискретного, так и монолитного типа. Сушка и нагрев производятся в автоматическом режиме по шаблону, разработанному индивидуально для каждого вида футеровки.

Системой управления предусмотрено два режима ведения технологического процесса сушки сталеразливочного ковша – ручной и автоматический (рисунок 1). В автоматическом режиме технолог вводит шаблон (заданный график), по которому будет производиться разогрев ковша.

Целью этапа алгоритмизации является разработка последовательности действий, обеспечивающей получение требуемого результата для заданных исходных данных.

На этапе алгоритмизации решаются следующие задачи:

- разработка укрупненного алгоритма и схемы работы системы;
- разработка детального алгоритма решения задачи;

В ручном режиме управления технолог с помощью клавиш панели оператора изменяет положения газового и воздушного регулирующих клапанов, тем самым корректируя расходы газа и воздуха в установке. Выполнение основной программы начинается с подачи команды «Пуск». При этом система управления включает вентилятор и дымосос, отслеживая выполнение команды путем анализа состояния датчиков напора вентилятора и тяги дымососа.

После достижения установленных параметров производится управление процессом открытия клапана газа и его розжига. Контроль процесса осуществляется датчиком горения факела. При отсутствии факела оператор может выбрать команду «Сброс» и произвести розжиг горелки заново. При наличии факела оператор может выбрать режим работы.

При выборе ручного режима производится его индикация (блок «Режим РУЧ»). Введенные оператором команды выполняются до тех пор, пока не будет дана команда «Выход». Система переходит в состояние анализа – окончить работу или выбрать другой режим. В автоматическом режиме система выводит индикацию режима («Режим АВТ»), после оператор должен ввести шаблон процесса сушки.

Программа автоматического управления будет запущена только тогда, когда шаблон будет введен. При остановке процесса система выходит в состояние анализа последующих действий – выход с остановкой всех процессов, или выбор другого режима. В подпрограмме автоматического режима (рисунок 2) система считывает данные первой строки шаблона. Если этих данных нет, то процесс либо закончен, либо шаблон не введен. В любом случае нужно вернуться в основную программу. Если данные есть, то сначала запускается таймер на отсчет времени длительности текущего участка (этапа сушки).

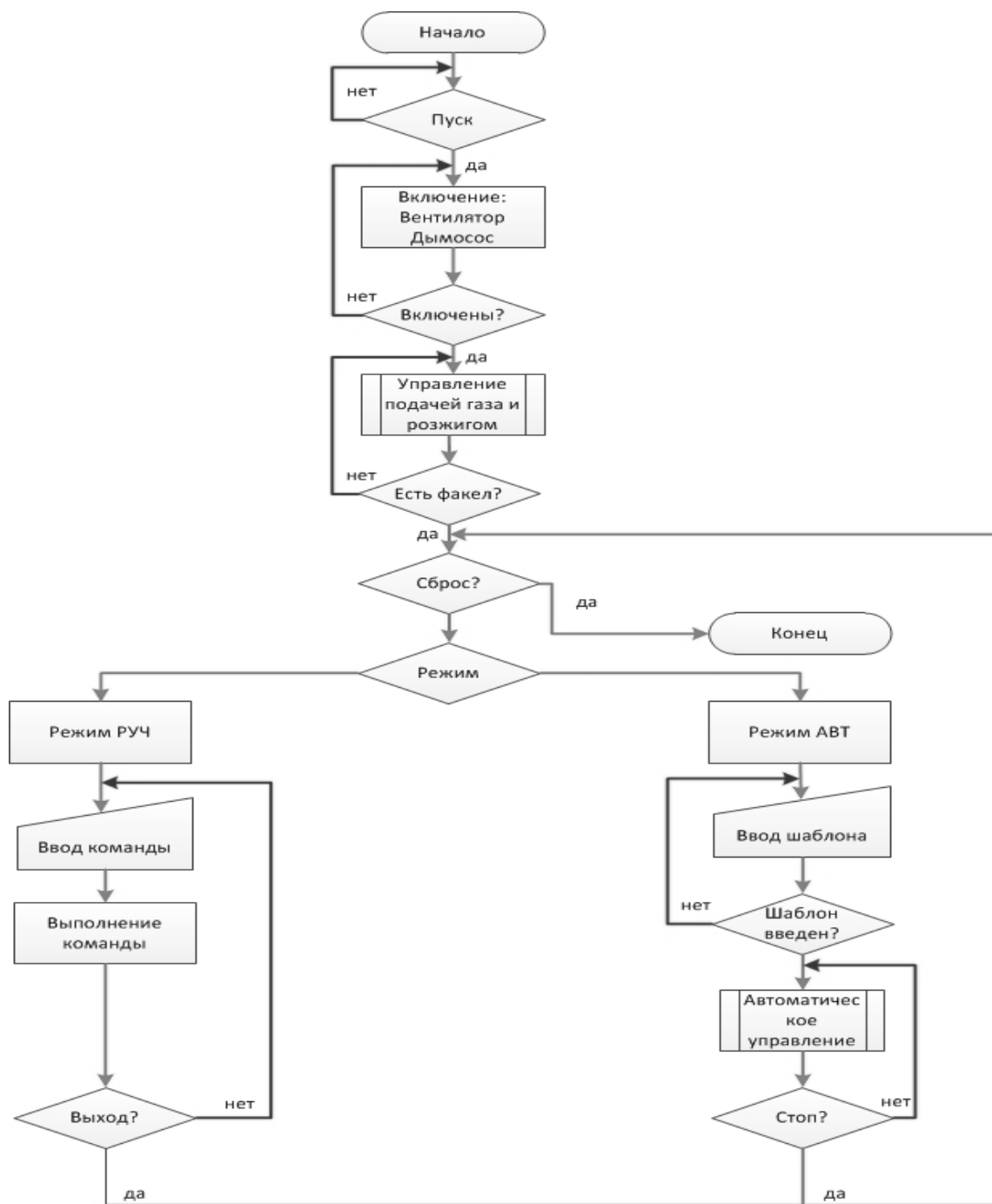


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритма управления установкой

После этого сигнал на открытие подается на исполнительный механизм природного газа. Далее по заданию открывается клапан подачи газа. Это будет происходить до тех пор, пока угол его открытия не сравнится с заданным. Такая процедура называется рекурсивной. Таким же образом производится управление процессом открытия воздушного клапана. С помощью рекурсивной процедуры контролируется соотношение природного топлива к воздуху. Для контроля и регулирования необходима обратная связь с датчиков и исполнительных механизмов.

Для обратной связи используются данные процесса горения (температура, расходы газа и воздуха, содержание кислорода в продуктах горения). Когда расход воздуха установится, необходимо проверить таймер. Если время не истекло, то поддерживаются заданные параметры процесса, а если время этапа истекло, переходим к вводу данных следующего участка. И так до тех пор, пока в шаблоне не останется строки с заданием. Когда это произойдет, система выйдет из режима автоматического управления.

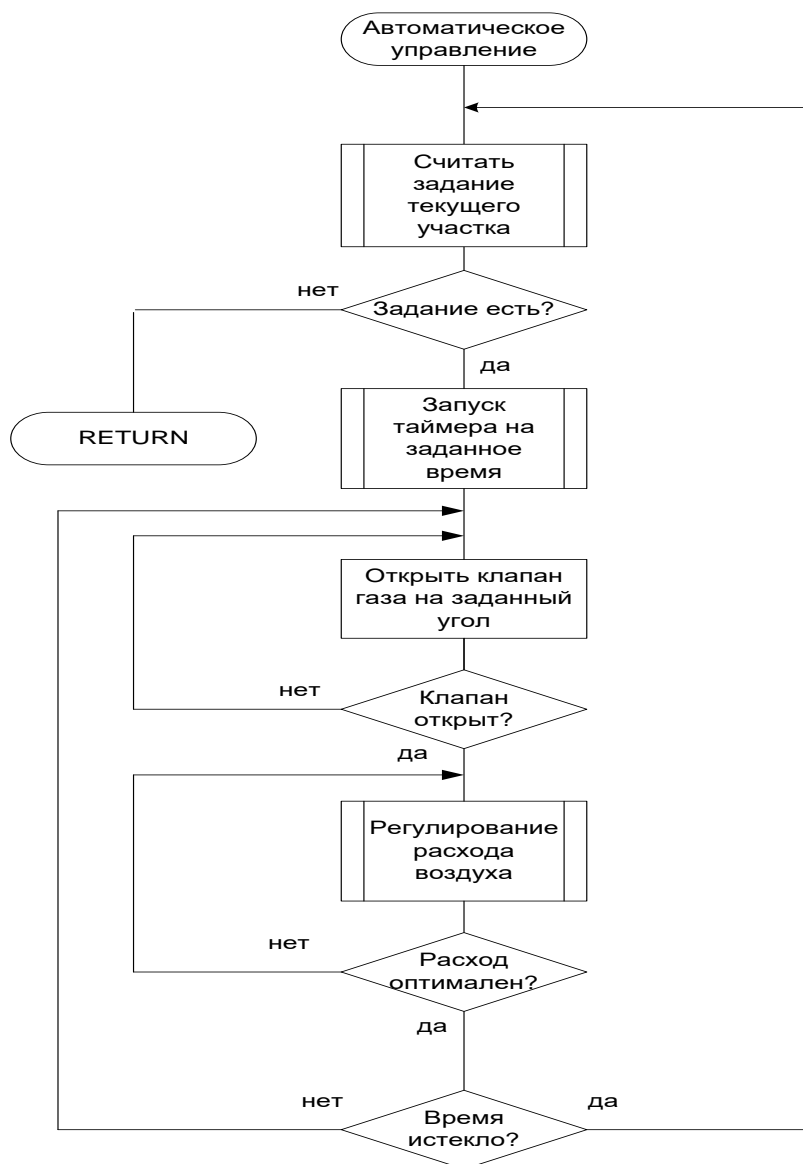


Рисунок №2 - Блок-схема алгоритма подпрограммы автоматического режима управления установкой сушки сталеразливочных ковшей

На основании вышеизложенного предложена структурная схема системы управления установкой сушки сталеразливочных ковшей (рисунок 3).

Для контроля температуры в рабочем пространстве применятся термоэлектрические преобразователи (термопары) типа ТХА(К). Термопара устанавливается в крышке установки. Выходным сигналом с термопары является термо-ЭДС, вырабатываемая ее электродами. Градуировочная характеристика данного типа термоэлектрических преобразователей поддерживается модулем аналогового ввода SM 331, 8 x 12 bit [2].

Регулирование температуры осуществляется для поддержания заданного теплового режима посредством изменения количества подаваемого в установку природного газа. Для регулирования температуры в рабочем пространстве контроллер формирует управляющий сигнал, пропорциональный требуемому углу открытия регулирующей задвижки подачи газа, который с модуля аналогового вывода SM 332, 4 x 12 bit в виде унифицированного сигнала 4 – 20 мА подается на исполнительный механизм. Встроенный в исполнительный механизм датчик положения выдает унифицированный токовый сигнал 4-20 мА, пропорциональный углу поворота выходного вала механизма. Этот сигнал подается на модуль аналогового ввода SM 331, 8 x 12 bit.

Расход газа, подаваемого в установку, измеряется методом переменного перепада давления, который получил наибольшее распространение. Суть метода заключается в

измерении перепада давления на сужающем устройстве, установленном непосредственно в трубопроводе на фланцевых разъемах. В роли сужающего устройства используется камерная диафрагма. Диафрагма создает местное сопротивление проходящему по трубопроводу потоку газа, в результате чего давление измеряемой среды после сужения становится меньшим, чем до него. Разность давлений до и после диафрагмы тем больше, чем больше скорость проходящего потока газа и, соответственно, расход газа. Зависимость измеряемого расхода от перепада давления квадратична, то есть – расход газа пропорционален корню квадратному из перепада давления на диафрагме (рисунок 4). Импульсы давлений до и после диафрагмы с помощью импульсных трубок подаются в измерительные камеры преобразователя дифференциального давления SITRANS P DS III, который преобразует разницу давлений в электрический унифицированный сигнал 4 – 20 мА, пропорциональный расходу газа в трубопроводе. Унифицированный сигнал 4 – 20 мА подается на вход модуля аналогового ввода SM 331, 8 x 12 bit. Аналогично на модуль аналогового ввода SM 331, 8 x 12 bit проектируем подачу сигнала, пропорционального расходу воздуха.

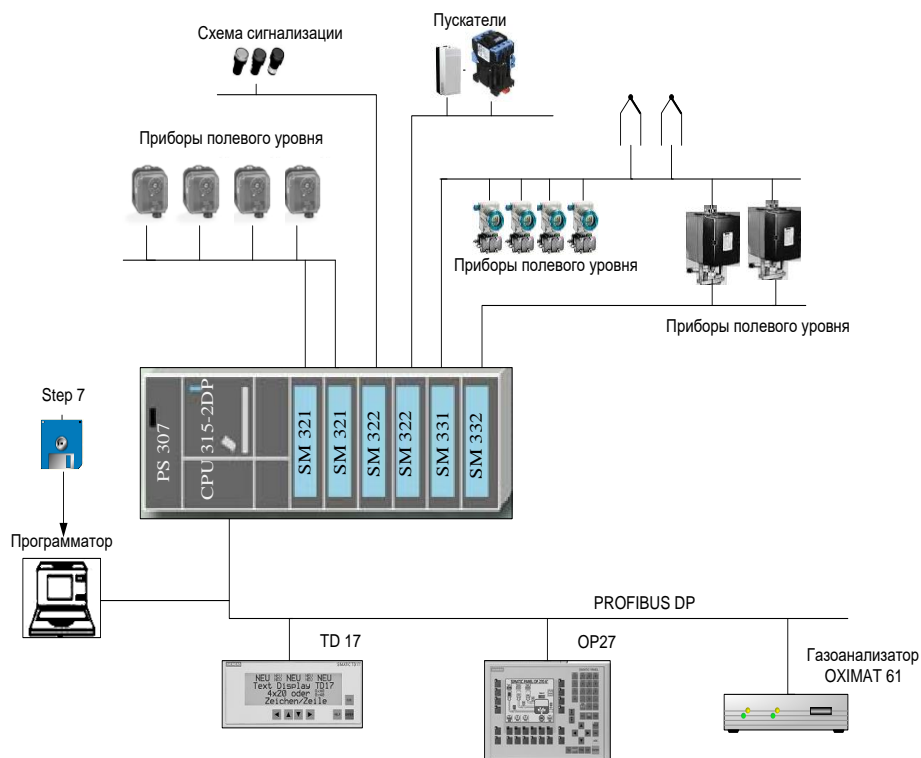


Рисунок №3 - Структурная схема системы управления установкой

Для оценки качества сгорания природного газа возникает необходимость оценки количества кислорода в отходящих газах. При наиболее оптимальном горении природного газа, когда выделение тепла максимальное, 2 – 2.7%. Регулирование соотношения газ-воздух осуществляется для поддержания режима горения природного газа посредством подачи необходимого и достаточного для этого количества воздуха. Для регулирования соотношения газ-воздух контроллер формирует управляющий сигнал, пропорциональный требуемому углу открытия регулирующей задвижки подачи воздуха, который с модуля аналогового вывода SM 332, 4 x 12 bit в виде унифицированного сигнала 4 – 20 мА подается на исполнительный механизм. Встроенный в исполнительный механизм датчик положения выдает унифицированный токовый сигнал 4-20 мА, пропорциональный углу поворота выходного вала механизма. Сигнал подается на модуль аналогового ввода SM 331, 8 x 12 bit. Модуль находится в центральной стойке.

Давление газа и воздуха контролируется показывающими манометрами. В целях обеспечения безопасности ведения технологического процесса и исправности оборудования установки сушики сталеразливочных ковшей на газопроводе и воздухопроводе агрегата

необходимы дискретные датчики давления, сигнализирующие о выходе давления за допустимые пределы. Данные датчики коммутируют +24В замыканием контакта, и подают этот сигнал на модуль цифрового ввода SM 321. Состояние горелки контролируется с помощью датчика контроля наличия пламени. Датчик выдает дискретный сигнал на модуль цифрового ввода SM 321. Сигнал «1» (+24В) соответствует наличию пламени на горелке, сигнал «0» – его отсутствию. Состояние вентилятора подачи воздуха и дымососа реализуется коммутацией 230В АС на контрольных контактах автоматических выключателей питания и пускателей этого оборудования. Данные сигналы подаются на модуль цифрового ввода SM 321, 8DI, 230V АС. При появлении на модуле цифровых входов хотя бы одного из перечисленных дискретных сигналов о выходе контролируемых параметров за установленные пределы, затухании пламени горелок, отсутствии питания вентилятора и дымососа контролером формируются сигналы, которые с модуля цифровых выводов SM 322 поступают на клапан отсечки газа и средства световой и звуковой сигнализации. Работа установки останавливается.

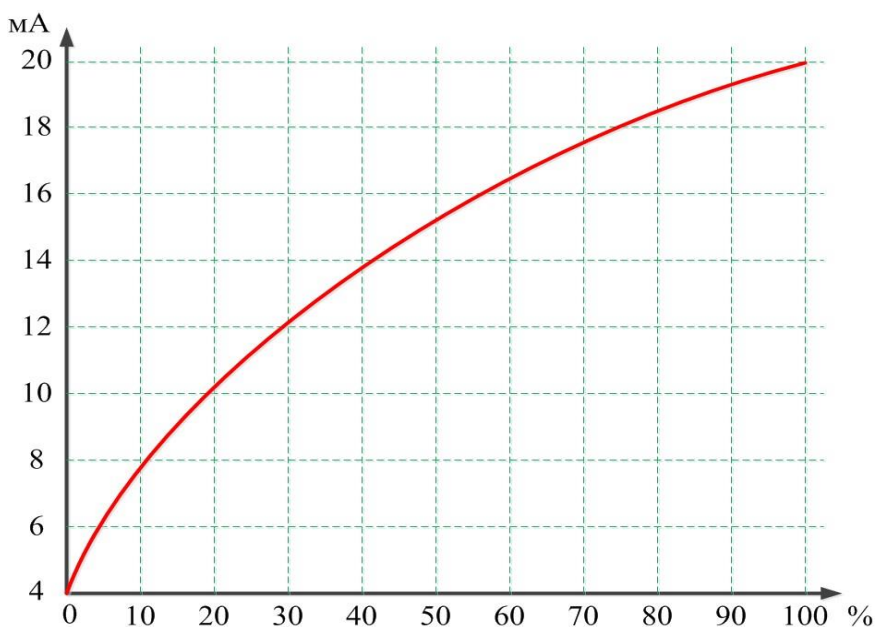


Рисунок 4 – Квадратичная зависимость выходного сигнала датчика дифференциального давления от перепада давления на диафрагме

Положение крышки контролируется с помощью дискретных сигналов с конечных переключателей, установленных на гидроцилиндре привода подъема-опускания крышки. Данные сигналы подаются на модуль цифрового ввода SM 321, 32DI, 24V DC. Для управления приводом подъема-опускания крышки контроллер формирует управляющее воздействие – с модуля цифровых выводов SM 322, 8DO, 24V DC подается сигнал управления насосом гидросистемы.

Для наладки системы должна предусматриваться возможность подключения программатора. Предложено осуществить подключение программатора по шине Profibus DP. Такой способ позволит осуществлять редактирование и загрузку программ управления контроллером, реализованных в среде Step 7, а также наблюдать в режиме online.

Разработанный алгоритм и структура системы автоматизации установки сушки стальной ковшевой позволяет перейти к ее практической реализации.

Перечень ссылок

1. Установка сушки сталеразливочного ковша, система управления. Инструкция по эксплуатации/ Донецкий электрометаллургический завод 2002.-72с.
2. Каталог СА 01, Редакция 01/2003 RUS, версия 15.60.18, ©Siemens AG 2003-2008.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ ЛЕНТОЧНОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Пазуха А.В., магистрант; Ткаченко А.Е., доц., к.т.н.; Лаппо П.В., доц., к.т.н.
(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Как показывают аналитические исследования причин пожаров на шахтных ленточных конвейерных установках [1], имеется два основных источника возгорания конвейерных лент, а именно: шахтная деревянная крепь, уголь и другие внешние горючие вещества и предметы, а также внутренние элементы конструкции самих конвейеров – лента при ее трении о приводные барабаны, неисправные роликоопоры и др.

Повысить безопасность работы такого важного структурного элемента в транспортной цепочке горного предприятия, как ленточный конвейер, путем снижения вероятности возникновения пожара, возможно при использовании новых методов отбора технологической информации о температуре в местах наиболее вероятного возгорания [2], а также при разработке мероприятий по оперативному контролю и управлению работой конвейерной установки с целью недопущения возникновения пожароопасной ситуации. Необходимо отметить, что наиболее часто возгорания конвейерных лент фиксируются при наличии их пробуксовки и, соответственно, их повышенного трения в местах контакта с приводным барабаном.

Таким образом, актуальной является разработка системы оперативного автоматического контроля температуры (СКТ) приводного барабана конвейера, а также автоматического управления приводами конвейера и натяжной станции в соответствии с информацией о температуре приводного барабана.

Разрабатываемая аппаратура защиты от возгорания, должна обеспечивать совместную работу с базовой аппаратурой автоматизации ленточных конвейерных линий (АУК, САУКЛ и др.) В функции разрабатываемой аппаратуры должны входить звуковая и световая сигнализации с целью предупреждения персонала об аварии на конвейерной линии. Целесообразно предусмотреть по аналогии с базовой аппаратурой наличие в структуре блока управления, отвечающего за подачу аварийного сигнала на протяжении конвейера, на котором отмечено критическое превышение температуры барабана, а также пульт управления, который обеспечивает подачу сигнала аварии на центральном пункте управления конвейерной линии. Также аппаратура защиты должна иметь концентратор информации о тепловом режиме работы всех конвейеров в линии. Он должен быть расположен в блоке пульта СКТ. Этот концентратор информации (пульт) должен иметь выход на головной контроллер (или персональный компьютер) для возможности ручной перенастройки системы, изменения уставок и получения информации о работе конвейерной линии.

Для предотвращения аварий и обеспечения безопасной работы конвейера проектируемая система должна обеспечивать непрерывный контроль температуры приводного барабана в зависимости от натяжения конвейерной ленты. Необходимость быстрой оценки ситуации и принятия решений по управлению при работе конвейера в условиях значительной разнесенности приводных станций натяжения и приводов конвейера требует от системы автоматизации обеспечения широких информационных возможностей. Должна предусматриваться следующая индикация:

- 1) Индикация работы приводов конвейера и натяжной станции;
- 2) Индикация натяжения ленты;
- 3) Индикация температуры приводного барабана;
- 4) Индикация причины отключения, которое произошло;
- 5) Индикация целостности цепей датчика температуры.

Также необходимо выполнение требований по взрывозащите корпусов блоков разрабатываемой аппаратуры и искробезопасности выходных и входных цепей.

Структурная схема управления конвейером с учетом функции контроля температурного режима приводного барабана изображена на рис.1. В качестве базовой принята аппаратура АУК.1М.

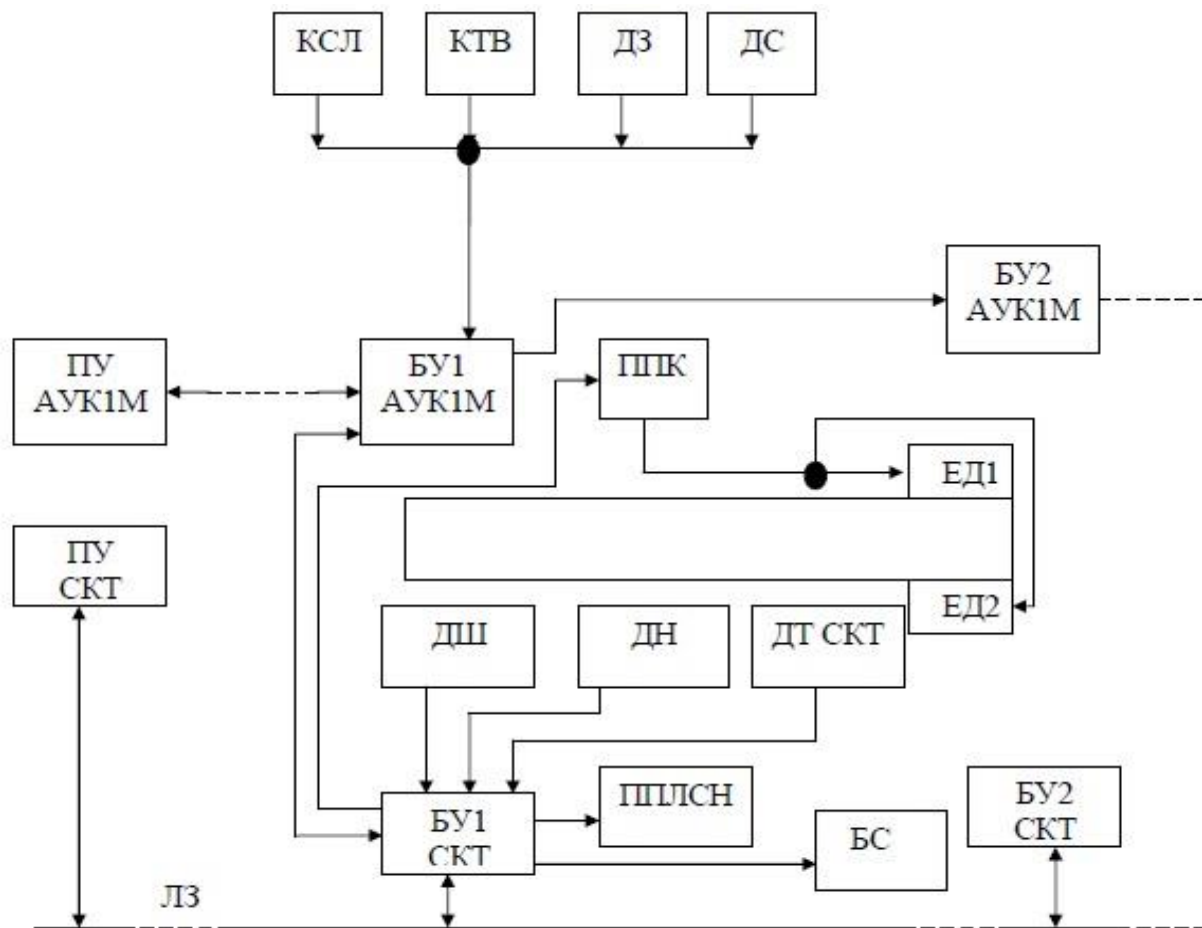


Рисунок 1 – Структура автоматизации конвейерной линии с аппаратурой температурной защиты

Данная система включает в себя:

- аппаратуру автоматизированного управления конвейерной линией АУК-1М (на схеме - ПУ АУК та БУ АУК);
- пускатели приводов конвейера и привода станции натяжения ленты - ППК и ППЛСН;
- пульт управления и блок управления системы контроля температуры - ПУ СКТ и БУ СКТ;
- электродвигатели конвейера ЕД1, ЕД2;
- ДШ, ДН, ДТСКТ – датчики скорости, натяжения, температуры системы контроля температуры приводных барабанов;

Структурная схема работает следующим образом. Сигнал пусковой полярности подается от ПУ АУК в блок управления первого в линии конвейера БУ АУК. БУ СКТ опрашивает датчик натяжения ленты ДН и если натяжение менее минимального производится запуск пускателя привода станции натяжения ленты ППЛСН до тех пор, пока натяжение не будет равно заданному минимальному значению. После этого БУ СКТ подает сигнал на пускатель приводов конвейера ППК. Сигнал с датчика скорости ДШ подается на блок управления системы контроля температуры БУ СКТ и при разгоне конвейера до скорости $0,75V_{ном}$ БУСКТ подает сигнал на БУ АУК, который в свою очередь подает сигнал

на включение в блок управления вторым конвейером и так далее. На протяжении работы конвейера осуществляется последовательный опрос датчиков технологического процесса и при наличии сигнала аварии аппаратура управления выключает все конвейеры, которые осуществляют транспортировку на аварийный конвейер. Датчик температуры приводного барабана осуществляет непрерывный контроль и в случае повышения температуры до 70°C подает сигнал на пускатель повода натяжной станции, чем осуществляется натяжение ленты для повышенного контакта ленты с барабаном. При этом значение натяжения контролируется датчиком ДН и при превышении допустимых максимальных значений по температуре и натяжению производится выключение приводов конвейера и возвращение станции натяжения в исходное положение. Предлагаемая подробная структурная схема непосредственно системы температурного контроля приведена на рис.2.

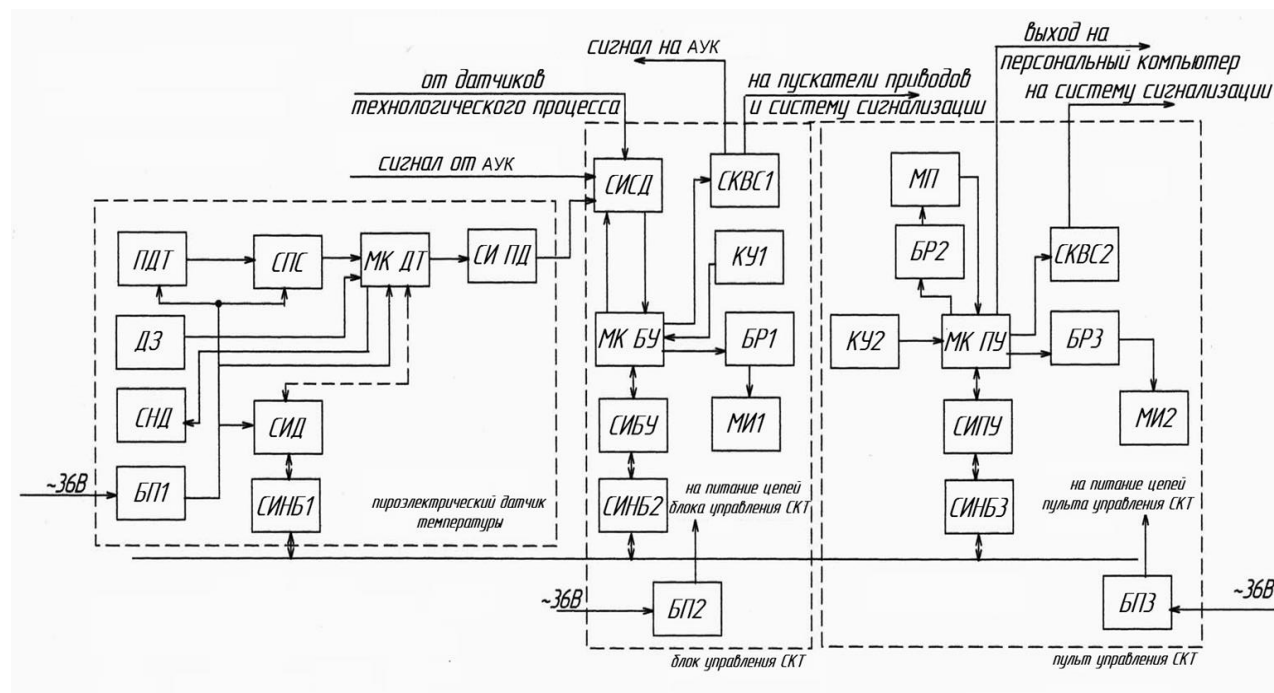


Рисунок 2 – Структурная схема системы контроля температуры приводных барабанов

Структурная схема состоит из следующих блоков: ПДТ – пироэлектрический датчик температуры; ДЗА – датчик загрязнения атмосферы; СНД – схема настройки датчика на объект; СПС – схема усиления сигнала; СИД, СИБУ, СИПУ – схемы интерфейсов датчика, блока управления и пульта управления; МК ДТ, МК БУ, МК ПУ – микроконтроллеры датчика температуры, блока управления и пульта управления; СИ ПД – схема искробезопасности выходных сигналов пироэлектрического датчика; СИСД – схема искробезопасности входных сигналов блока управления; МС – мультиплексор сигналов; СКВС1, СКВС2 – схемы коммутации выходных сигналов блока и пульта управления; КУ1, КУ2 – кнопки управления блока и пульта управления; МИ1, МИ2 – модуль индикации блока и пульта управления; БР1, БР2 – блоки регистров.

Работа структурной схемы заключается в следующем. Сигнал пусковой полярности подается от ПУ АУК в блок управления первого в линии конвейера БУ АУК. При этом на МКБУ, через схему искробезопасности сигналов с датчиков СИСД поступает сигнал от блока управления АУК 1М первого конвейера АУК 1М о запуске конвейера. МК СУ первого конвейера находится в состоянии приема команды на пуск от датчика температуры. Микроконтроллер выполняет проверку сигналов от ПДТ, ДЗА о температуре приводного барабана и состоянии смотрового окна датчика, и выдает сигнал о возможности пуска в МК БУ.

МК СУ опрашивает датчик натяжения ленты и если натяжение менее минимального производится запуск пускателя привода станции натяжения ленты с помощью схемы

коммутации выходных сигналов блока управления СКВС1 до тех пор, пока натяжение не будет равно заданному минимальному значению. После этого МК БУ подает сигнал с помощью схемы коммутации выходных сигналов блока управления СКВС1 на пускатель приводов конвейера.

Сигнал с датчика скорости подается на МК БУ и при разгоне конвейера до скорости $0,75V_{ном}$ Сигнал с датчика скорости подается на МК БУ и при разгоне конвейера до скорости $0,75V_{ном}$ подает сигнал на БУ АУК (с помощью схемы коммутации выходных сигналов блока управления СКВС1), который в свою очередь подает сигнал на включение в блок управления вторым конвейером и т.д. На протяжении работы конвейера осуществляется последовательный опрос датчиков и при наличии сигнала аварии аппаратура управления выключает все конвейеры, которые осуществляют транспортировку на аварийный конвейер. Датчик температуры приводного барабана осуществляет непрерывный контроль и в случае повышения температуры до 60°C подает сигнал на пускатель привода натяжной станции, чем осуществляется натяжение ленты для повышенного контакта ленты с барабаном. При этом значение натяжения контролируется датчиком натяжения и при превышении допустимых максимальных значений по температуре и натяжения производится выключение приводов конвейера и возвращение станции натяжения в исходное положение.

Кнопки управления служат для выбора режима работы конвейера, ввода параметров допустимой температуры и натяжения ленты. Блок регистров служит для управления модулем индикации МИ который производит числовую визуализацию процесса, а также проверки работоспособности схемы устройства, выбора уставок.

Для обеспечения обмена информацией пульта управления с блоком управления системы контроля температуры по протоколу RS485, а также искробезопасности внутренних цепей устройства и линии связи служат схемы интерфейса датчика, блока управления, пульта управления (СИД, СИ БУ, СИ ПУ) и схемы искробезопасности СИНБ1 - СИНБ3.

Блоки питания БП предназначены для питания искробезопасным напряжением внутренние элементы устройства.

Таким образом, в данной статье обоснована необходимость контроля температуры приводного барабана ленточного конвейера, как места наиболее вероятного возгорания конвейерной ленты при наличии пробуксовки. Сформулированы основные технические требования к разрабатываемой аппаратуре управления. Предложена структурная схема автоматизации конвейерной линии с включенной функцией контроля температуры на основе базовой аппаратуры АУК-1М, а также предложена структурная схема непосредственного автоматического контроля температуры барабана ленточного конвейера.

Перечень ссылок

1. Ленточные конвейеры в горной промышленности /В.А.Дьяков, Л.Г.Шахмейстер, В.Г.Дмитриев и др.- М.: Недра, 1982. - 349 с.
2. Пазуха, А.В. Конструктивные особенности системы автоматического температурного контроля приводного барабана ленточного конвейера [Текст] / А.В. Пазуха // XIX Международная молодежная конференция «Севергеоэкотех-2018»: Материалы конференции (21-23 марта 2018). В 3 ч. Ч.1. – Ухта: УГТУ, 2018. – С. 74–77.
3. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта / Стадник Н.И. и др. М.: Техника, 1992. - 438с.
4. Голубцов М.С. Микроконтроллера AVR: от простого к сложному. – М.: Солон-пресс, 2003. – 288 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛ ИЗ ПОТОКА НЕМАГНИТНОГО ВЕЩЕСТВА

Парсентьев О.С., асп.; Швец С.Н., к.т.н., доц. каф. «Приборы»; Яковенко В.В., проф., д.т.н., зав. каф. «Электромеханика»

(ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск)

Введение. Извлечение ферромагнитных тел (ФТ) из потока немагнитного вещества в настоящее время осуществляется без устройств обнаружения. Над конвейером, по которому перемещается вещество, располагаются электромагниты, функционирующие в непрерывном режиме. Электромагниты располагаются в непосредственной близости от потока вещества (гипс, мука, песок, сахар, уголь, цемент) и запитываются постоянным током. Для создания магнитного поля, необходимого для извлечения ФТ, электромагниты должны иметь ферромагнитные сердечники, которые при значительной ширине ленты конвейера (до 2 м) приобретают большие габариты и массу (до 4 т) [1]. Такой метод извлечения ФТ удобен при небольших потоках контролируемой среды (ширина конвейера до 0,8-1 м). Для угольных конвейеров метод постоянно включенного железоотделителя становится неэффективным.

Попытки создать информационную систему, которая бы подавала команду на включение электромагнитного железоотделителя при наличии в потоке ФТ за несколько метров от железоотделителя, так же оказались неэффективными, так как коммутация обмотки катушки железоотделителя индуктивностью, которой превышает 5 Гн представляет собой сложную техническую задачу и, самое главное, габариты железоотделителя за счет применения прерывистого режима работы удается сократить не более чем на 8-11% [2].

Целью настоящей работы является, повышение эффективности системы обнаружения и извлечения ФТ из потока немагнитного вещества при помощи импульсного железоотделителя.

Кардинальным решением проблемы уменьшения металлоемкости железоотделителя является изменение его принципа действия и конструкции. Нами предлагается новый принцип построения железоотделителя, который заключается в следующем:

- железоотделитель как система должен включать в себя информационную систему, основой которой являются металлодетекторы;
- катушка электромагнита не должна содержать ферромагнитный сердечник, для возможности их питания импульсами тока;
- железоотделитель должен иметь предварительный блок постоянных магнитов, задачей которого является намагничивать ФТ и удалять ФТ, находящиеся близко к поверхности вещества;
- воздушный объем внутри электромагнита заполняется постоянными магнитами для удержания извлеченных тел по окончании импульса.

Упрощенная схема импульсного железоотделителя представлена на рис.1. При подходе к блоку постоянных магнитов 3 ФТ намагничивается, а те ФТ, которые находятся в непосредственной близости от поверхности контролируемого вещества, удаляются, то есть «прилипают» к поверхности блока постоянных магнитов. Не удаленные ФТ проходят под датчиком обнаружения ФТ (ДОФТ), который дает сигнал об их наличии. Преобразованным сигналом ДОФТ формирует импульс заданной амплитуды и длительности, который подается в обмотку импульсного железоотделителя 5. Если исключить применение блока предварительного намагничивания, то, во-первых, упадет чувствительность ДОФТ, во-вторых, блок импульсных электромагнитов будет включаться слишком часто.

Цепь питания импульсного железоотделителя (ИЖ) представляет собой контур из последовательно соединенных сопротивлений, катушки индуктивности и конденсатора. Кон-

денсатор осуществляет разряд электроэнергии на катушку индуктивности и активное сопротивление.

Импульсы тока i , посылаемые в обмотку железотделителя, а также время соответствующее пику тока $t1$ определяются по формулам [3]:

$$i = \frac{U_{C0}}{(p_1 - p_2) \cdot L} (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}); \quad (1)$$

$$t1 = \frac{\ln \frac{p_2}{p_1}}{p_1 - p_2}, \quad (2)$$

где U_{C0} – начальное напряжение на конденсаторной батарее, В;

p_1 и p_2 – корни характеристического уравнения:

C – емкость конденсатора, Ф;

L – индуктивность катушки, Гн.

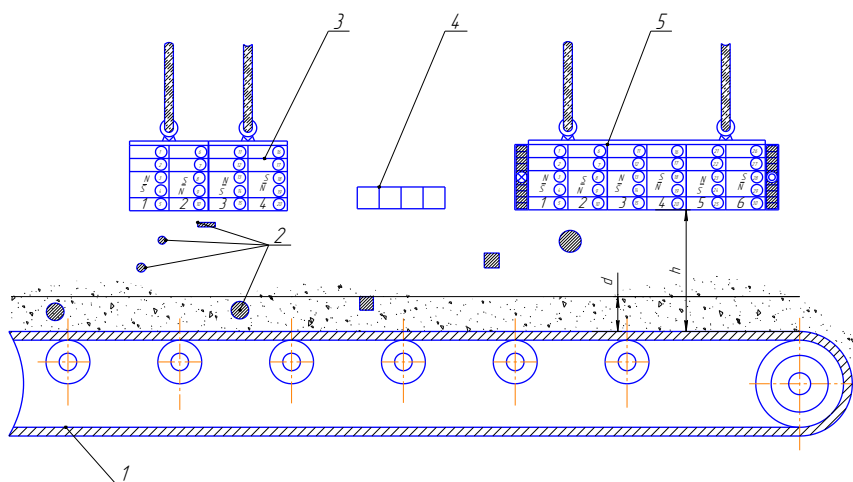


Рисунок 1 – Поясняющая схема магнитной сепарации, реализуемая при помощи импульсного железотделителя

1 – лента конвейера; 2 – ФТ; 3 – блоки постоянных магнитов, формируемые из Fe-Va магнитных плит; 4 – ДОФТ; 5 – ИЖ.

Расчеты импульсов тока и намагничивающей силы производились для обмоток с числом витков: 60; 70; 80; 100; 200; 300; 500 и 1000.

По известным формулам определялась величина пондеромоторной силы F_m магнитного поля в заданных точках рабочей области исследуемых моделей железотделителей по мере удаления ФТ от поверхности полюсов. Для ФТ массой 1-50 кг, находящихся в потоке немагнитной движущейся на конвейере сыпучей смеси – угле определялись силы сопротивления движению ФТ в вертикальном направлении по формуле [4]:

$$F_c = m \cdot \left(\frac{\gamma \cdot d \cdot V_k}{L} + g \right), \quad (3)$$

где m – масса ФТ. $m=1-50$ кг;

γ – коэффициент, учитывающий плотность сыпучего материала, c^{-1} . $\gamma=150$ l/c ;

d – толщина немагнитной смеси на конвейере, м. $d=0,2-0,4$ м;

V_k – скорость движения конвейера, м/с. $V_k=2,5$ м/с;

L – длина области действия железотделителя, м. $L=0,84$ м;

g – ускорение свободного падения, м/с². $g=9,8$ м/с².

После подстановки численных значений в формулу (2) получаем силы сопротивления F_c , значения которых представлены в табл.1.

Таблица 1—Результаты расчета сил сопротивления F_c движению ФТ в вертикальном направлении в зависимости от положения последнего в слое угля высотой d

Масса ФТ m , кг	γ , c^{-1}	Скорость ленты конвейера V_k , м/с	Высота слоя угля d , м	F_c , Н	Высота слоя угля d , м	F_c , Н
0	150	2,5	0,2	0,0	0,4	0,0
1	150	2,5	0,2	99,3	0,4	188,6
5	150	2,5	0,2	496,4	0,4	942,9
10	150	2,5	0,2	992,9	0,4	1885,7
15	150	2,5	0,2	1489,3	0,4	2828,6
20	150	2,5	0,2	1985,7	0,4	3771,4
25	150	2,5	0,2	2482,1	0,4	4714,3
30	150	2,5	0,2	2978,6	0,4	5657,1
35	150	2,5	0,2	3475,0	0,4	6600,0
40	150	2,5	0,2	3971,4	0,4	7542,9
45	150	2,5	0,2	4467,9	0,4	8485,7
50	150	2,5	0,2	4964,3	0,4	9428,6

Полученные в результате расчета силы F_m представлены на рис.2.а и б, для определения извлекающей способности исследуемых железоотделителей.

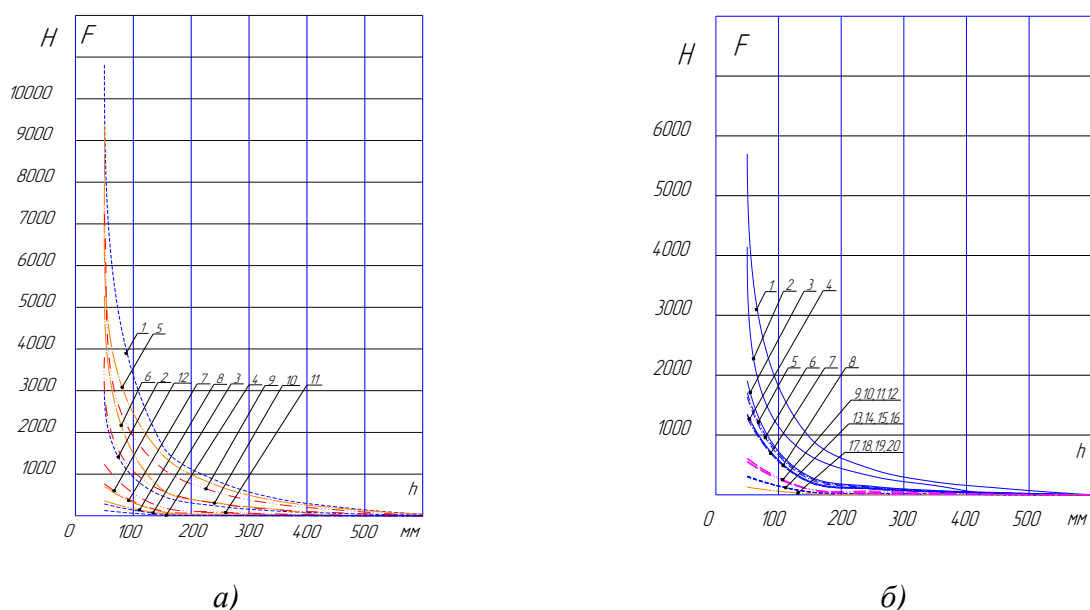


Рисунок.2 – Семейство характеристик $F=f(h)$, построенные для обмоток ИЖ, рассчитанных на количество витков:

а)

- $w=60$, в моменты времени импульса: 1) $t1=0,07c$; 2) $t2=0,19c$; 3) $t3=0,34c$; 4) $t4=0,4c$;
- $w=70$, в моменты времени импульса: 5) $t1=0,07c$; 6) $t2=0,19c$; 7) $t3=0,34c$; 8) $t4=0,4c$;
- $w=80$, в моменты времени импульса: 9) $t1=0,08c$; 10) $t2=0,19c$; 11) $t3=0,34c$; 12) $t4=0,4c$.

б)

- $w=100$, в моменты времени импульса: 1) $t1=0,1c$; 2) $t2=0,19c$; 3) $t3=0,34c$; 4) $t4=0,4c$;
- $w=200$, в моменты времени импульса: 5) $t1=0,13c$; 6) $t2=0,19c$; 7) $t3=0,34c$; 8) $t4=0,4c$;
- $w=300$, в моменты времени импульса: 9) $t1=0,13c$; 10) $t2=0,19c$; 11) $t3=0,34c$; 12) $t4=0,4c$;
- $w=500$, в моменты времени импульса: 13) $t1=0,09c$; 14) $t2=0,19c$; 15) $t3=0,34c$; 16) $t4=0,4c$;
- $w=1000$, в моменты времени импульса: 17) $t1=0,08c$; 18) $t2=0,19c$; 19) $t3=0,34c$; 20) $t4=0,4c$.

Выводы. Анализ табл.1 и семейства характеристик $F=f(h)$ представленных на рис.2а позволяет сделать заключение о том, что установка импульсных железоотделителей с обмотками рассчитанными на $w=60;70$ и 80 витков на высоте $h=0,3$ м от поверхности ленты конвейера позволит извлекать ФТ массой от 5 до 8 кг из слоя угля толщиной $d=0,2$ м. Установка ИЖ с обмотками рассчитанными на $w=60$ и 70 витков на высоте $h=0,5$ м от поверхности ленты конвейера позволит извлекать ФТ массой до 1 кг из слоя угля толщиной $d=0,4$ м.

Установка ИЖ с обмоткой рассчитанной на $w=80$ витков на высоте $h=0,5$ м от поверхности ленты конвейера, не обеспечит надежного извлечения ФТ из слоя угля толщиной $d=0,4$ м, так как пондеромоторные силы, развиваемые на заданной высоте не превосходят силы сопротивления движению ферромагнитных включений в вертикальном направлении.

Таким образом, рабочая область ИЖ с обмоткой расчитанной на $w=80$ витков снижается до $h=0,4$ м.

Однако с уменьшением толщины сыпучего слоя d , извлекающая способность железоотделителей с указанным числом витков возрастает в несколько раз. Так, например, установка на высоте $h=0,2$ м от поверхности ленты конвейера с сыпучим слоем толщиной $d=0,1$ м ИЖ, обмотка которого рассчитана на:

- $w=60$ витков, позволяет извлекать ФТ массой до 25 кг;
- $w=70$ витков, позволяет извлекать ФТ массой до 15 кг;
- $w=80$ витков, позволяет извлекать ФТ массой до 10 кг, что является неотъемлемо хорошим показателем при магнитной сепарации сыпучих материалов (цемент, алебастр), которые подвергаются процессу карбонизации из-за нарушения условий хранения.

Анализ табл.1 и семейства характеристик $F=f(h)$ представленных на рис.2б. позволяет сделать заключение о том, что установка на высоте $h=0,3$ м от поверхности ленты конвейера с сыпучим слоем угля толщиной угля $d=0,2$ м ИЖ, обмотки которых рассчитаны на:

- $w=100$ витков, позволяет извлекать ФТ массой до 5 кг;
- $w=200$ витков, позволяет извлекать ФТ массой до 1 кг.

Установка ИЖ с обмотками рассчитанными на $w=300,500$ и 1000 витков на высоте $h=0,3$ м от поверхности ленты конвейера, не обеспечат надежного извлечения ФТ из слоя угля толщиной $d=0,2$ м, так как пондеромоторные силы, развиваемые на заданной высоте не превосходят силы сопротивления движению ферромагнитных включений в вертикальном направлении.

Установка железоотделителей с обмотками рассчитанными на $w=100, 200, 300,500$ и 1000 витков на высоте $h=0,5$ м от поверхности ленты конвейера, также не обеспечат надежного извлечения ФТ из слоя угля толщиной $d=0,4$ м, так как пондеромоторные силы, развиваемые на заданной высоте не превосходят силы сопротивления движению ферромагнитных включений в вертикальном направлении.

Таким образом, рабочая область железоотделителя с обмоткой рассчитанной на $w=100$ витков сокращается до высоты $h=0,35$ м, а $w=200$ витков, – сокращается до высоты $h=0,3$ м.

Однако с уменьшением толщины сыпучего слоя до $d=0,1$ м и установке на высоте $h=0,2$ м от поверхности ленты конвейера, извлекающая способность железоотделителей рассчитанных на:

- $w=100$ витков возрастает до 10 кг;
- $w=200$ витков возрастает до 5 кг;
- $w=300,500$ и 1000 витков возрастает до 1 кг.

Таким образом, импульсные железоотделители, обмотки которых рассчитаны на $w=100$ и 200 витков также могут найти свое применение для извлечения ФТ из сыпучих материалов, которые могут подвергаться процессу карбонизации. Применение комбинированных железоотделителей с обмотками рассчитанными на $w=300,500$ и 1000 витков для сепарации сыпучих немагнитных материалов следует исключить, так как последние обладают сравнительно низкими показателями извлечения.

Кроме этого, наименьшей несимметрией и равномерным распределением магнитного поля в рабочей области, в течение всего времени действия импульса намагничивающей силы, наблюдается у ИЖ, обмотки которых рассчитаны на $w=80, 100$ и 200 витков (рис.3. а-м).

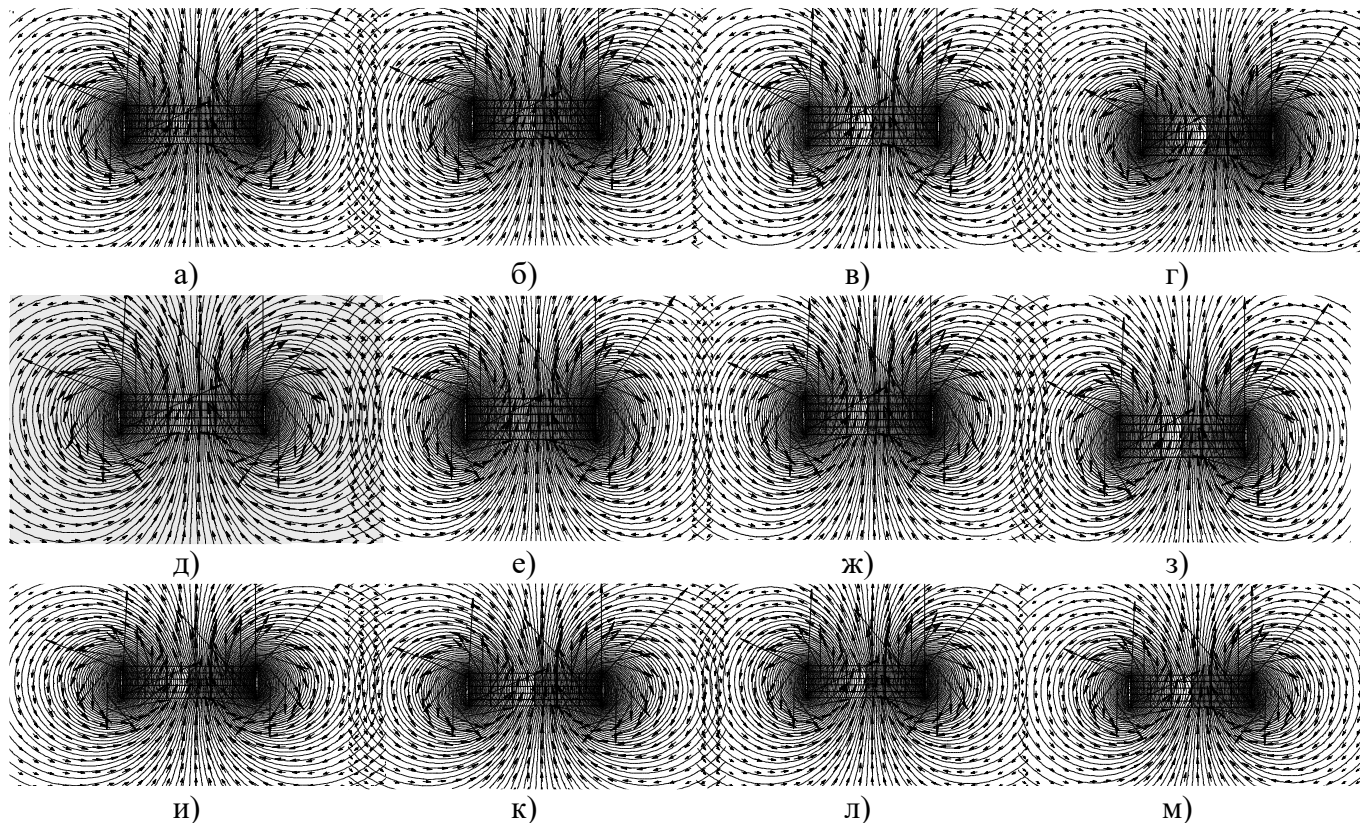


Рисунок 3—Результующие картины магнитного поля ИЖ с обмотками, рассчитанными на:

- 1) $w=80$ витков в момент времени действия импульса намагничивающей силы:
 - а) $t_1=0,08$ с; б) $t_2=0,19$ с; в) $t_3=0,34$ с; г) $t_4=0,4$ с;
- 2) $w=100$ витков в момент времени действия импульса намагничивающей силы:
 - д) $t_1=0,1$ с; е) $t_2=0,19$ с; ж) $t_3=0,34$ с; з) $t_4=0,4$ с;
- 3) $w=200$ витков в момент времени действия импульса намагничивающей силы:
 - и) $t_1=0,13$ с; к) $t_2=0,19$ с; л) $t_3=0,34$ с; м) $t_4=0,4$ с.

Для исключения вышеуказанной несимметрии магнитного поля, его равномерного распределения во всей рабочей области исследуемого ИЖ и повышения извлекающей способности, следует использовать магнитную плиту одной полярности N/S или S/N , направление вектора намагниченности которой, совпадает с направлением магнитных силовых линий образуемых импульсами тока в обмотках.

Перечень ссылок

1. Яковенко В.В. Расчет необходимой силы извлечения барабанных магнитных сепараторов с боковой подачей сепарируемого материала/ В.В. Яковенко, М.Ю. Бранспиз, В.В. Букреев// Вісник СНУ ім. В.Далі.—2006.—№9 (103).—ч.1—с.218-221.
2. Калашникова О.Н. Система обнаружения ферромагнитных тел в потоке угля /Вимірювальна та обчислювана техніка в технологічних процесах: Зб. наук. праць// О.Н. Калашникова, А.Г. Криеренко, В.В. Букреев.—Хмельницький: 2002.—№9 Т.1.—С.63-68.;
3. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях: учеб. для вузов.—М.: Советское радио, 1954.—252с.
4. Загирняк М.В. Магнитные сепараторы. Проблемы проектирования: Монография/ М.В. Загирняк, М.Ю. Бранспиз, И.А. Шведчикова; Под общей редакцией М.В.Загирняка.—К.: Техніка, 2011—224 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОГРУЗОЧНОГО КОМПЛЕКСА ПОВЕРХНОСТИ ШАХТЫ

¹Пугач Н.А. студ.; ¹Неежмаков С.В., доц., к.т.н., доц., ²Дубинин С.В., доц., к.т.н., доц.

¹(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

²(Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь)

Отгрузка угля в технологическом комплексе поверхности шахты – завершающий этап в процессе добычи полезного ископаемого. Комплекс представляет собой совокупность горно-технических сооружений и зданий на поверхности шахты, обеспечивающих работу её подземного хозяйства, а также складирование, переработку (при наличии соответствующих компонентов) и отправку потребителям добытого сырья.

Основные требования к погрузочному комплексу поверхности шахты являются: оптимальная загрузка вагонов (отсутствие недогрузов и перегрузов), минимальное время загрузки без простоя вагонов, автоматическое распознавание номеров вагонов, загрузка каждого вагона согласно его полной грузоподъемности, автоматизация документооборота и быстрое оформление отгрузочных документов, передача данных о погрузке в режиме реального времени в информационную систему предприятия, формирование «шапки» угля для предотвращения выдуваний при транспортировке, исключение влияния человеческого фактора на погрузочные работы. Исходя из этого, особое значение приобретают вопросы надежной и безопасной погрузки угля в вагоны для дальнейшей его транспортировки. Контроль технологических параметров погрузки угля необходимо осуществлять для обеспечения непрерывной и безаварийной работы погрузочного комплекса.

Так как отсутствует возможность проводить натурные эксперименты, связанные с погрузкой угля в условиях реальной эксплуатации погрузочного комплекса, то актуальным является математическое моделирование работы погрузочного комплекса поверхности шахты для дальнейшего синтеза системы автоматического управления данным технологическим процессом.

Используем классический подход к разработке математической модели – получение уравнений на основе физических законов, описывающих характеристики погрузочного комплекса в зависимости от изменения тех или иных параметров (производительности питателей, свободного объема бункера и т.д.).

Технологическая схема погрузочного комплекса поверхности шахты приведена на рисунке 1. Для оптимизации процесса погрузки проводится два расчета: для рабочего верхнего уровня и для рабочего среднего уровня заполнения бункера.

Технологические параметры работы погрузочного комплекса:

H_v – Верхний уровень заполнения бункера (5 т);

H_{sr} – Средний уровень заполнения бункера (2.5 т);

H_n – Нижний уровень заполнения бункера (1.2 т);

t_k – Время моделирования (может варьироваться);

t_1 - t_5 – Временные циклы (1.8, 2, 3.8, 4, 5.9, мин);

Q_{vh} – Добыча материала (40 т/мин);

Q_{vih} – Мах отдача бункера (50 т/мин);

F – Объем бункера (10, Т).

Математические выражения приводятся в терминах приложения Mathcad.

Для рабочего верхнего уровня:

$$Q_{post}(t) := \begin{cases} Q_{vh} & \text{if } (0 \leq t < t_{11} \vee t_{22} \leq t < t_{33} \vee t_4 \leq t \leq t_5) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

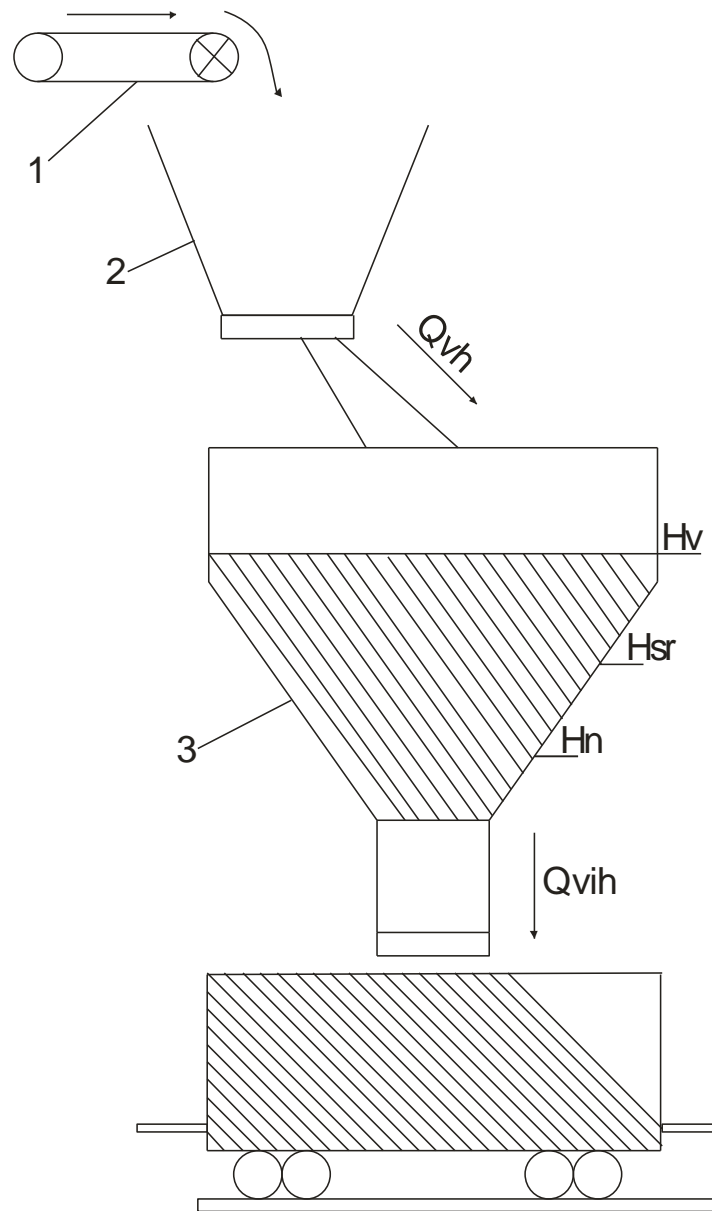


Рисунок 1 – Технологическая схема участка погрузочного комплекса поверхности шахты
 1 - ленточный конвейер, 2 - промежуточный бункер, 3 - основной бункер.

Q_{post} – присвоение значения в 1 момент времени (поступающий грузопоток);

$$Q_{vih}(x, \varphi) := \begin{cases} Q_{vih} & \text{if } \text{or}[(x \geq H_v), (x > H_n)] \cdot (\varphi < 0) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Q_{vih} – исходящий грузопоток, зависит от положения задвижки $\varphi=0$ – задвижка закрыта, $\varphi=1$ – задвижка открыта, и уровня.

Следующим этапом является составление дифференциального уравнения:

$$D(t, x, Q) := \frac{Q_{post}(t) - Q}{F} \quad (3)$$

Начальные значения для уравнения:

$\varphi=0, h_n=0, N=300, t_n=0;$

N - Количество шагов моделирования;

tn - Начальное время.

Для решения полученного дифференциального уравнения используется метод Рунге-Кутты:

$$\text{Rk}(t,x,\varphi,ht) := \left\{ \begin{array}{l} Q \leftarrow Q_{vih}(x,\varphi) \\ k1 \leftarrow D(t,x,Q) \\ k2 \leftarrow D\left[\left(t + \frac{ht}{2}\right), x + \frac{ht}{2} \cdot k1, Q\right] \\ k3 \leftarrow D\left[\left(t + \frac{ht}{2}\right), x + \frac{ht}{2} \cdot k2, Q\right] \\ k4 \leftarrow D[(t + ht), x + ht \cdot k3, Q] \\ rk \leftarrow \left(\frac{1}{6}\right) \cdot (k1 + 2 \cdot k2 + 2 \cdot k3 + k4) \\ x \leftarrow x + ht \cdot rk \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\underline{S} := \left\{ \begin{array}{l} ht \leftarrow \frac{tk - tn}{N} \\ t1 \leftarrow tn \\ \varphi1 \leftarrow \varphi \\ h1 \leftarrow hn \\ Q1 \leftarrow Q_{vih}(h1, \varphi1) \\ S1 \leftarrow (t1 \ h1 \ Q1) \\ \text{for } i \in 0.. N - 1 \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} t1 \leftarrow t1 + ht \\ \dots \\ Q1 \leftarrow Q_{vih}(h1, \varphi1) \\ H1 \leftarrow \text{Rk}(t1, h1, \varphi1, ht) \\ \varphi1 \leftarrow \frac{H1 - h1}{ht} \\ h1 \leftarrow H1 \\ S2 \leftarrow (t1 \ H1 \ Q1) \\ S1 \leftarrow \text{stack}(S1, S2) \end{array} \right. \\ S1 \end{array} \right. \quad (5)$$

Аналогично производятся вычисления для рабочего среднего уровня, при этом принимаем максимальную отдачу бункера и добычу материала равной $Q_v=50$:

$$Q_{post2}(t_1) := \left\{ \begin{array}{l} Q_{vh} \text{ if } (0 \leq t_1 < t_{11} \vee t_{22} \leq t_1 < t_{33} \vee t_4 \leq t_1 \leq t_5) \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right. \quad (6)$$

$$Q_2(x1, m) := \left\{ \begin{array}{l} Q_v \text{ if } \text{or}[(x1 \geq H_{st}), (x1 > H_n)] \cdot (m < 0) \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right. \quad (7)$$

$$D2(t_1, x, Q11) := \frac{Q_{post2}(t_1) - Q11}{F} \quad (8)$$

Начальные значения для уравнения:

$m=0, h_{n1}=0, N1=300, t_{n1}=0.$

$$Rk2(t_1, x1, m, ht1) := \left\{ \begin{array}{l} Q11 \leftarrow Q2(x1, m) \\ k1 \leftarrow D2(t_1, x1, Q11) \\ k2 \leftarrow D2\left[\left(t_1 + \frac{ht1}{2}\right), x1 + \frac{ht1}{2} \cdot k1, Q11\right] \\ k3 \leftarrow D2\left[\left(t_1 + \frac{ht1}{2}\right), x1 + \frac{ht1}{2} \cdot k2, Q11\right] \\ k4 \leftarrow D2[(t_1 + ht1), x1 + ht1 \cdot k3, Q11] \\ rk1 \leftarrow \left(\frac{1}{6}\right) \cdot (k1 + 2 \cdot k2 + 2 \cdot k3 + k4) \\ x1 \leftarrow x1 + ht1 \cdot rk1 \end{array} \right. \quad (9)$$

$$W := \left\{ \begin{array}{l} ht1 \leftarrow \frac{tk - t_{n1}}{N1} \\ t_{11} \leftarrow t_{n1} \\ m1 \leftarrow m \\ h11 \leftarrow h_{n1} \\ Q111 \leftarrow Q2(h11, m1) \\ W1 \leftarrow (t_{11} \ h11 \ Q111) \\ \text{-----} \\ \text{for } i \in 0..N1-1 \\ \left\{ \begin{array}{l} t_{11} \leftarrow t_{11} + ht1 \\ Q111 \leftarrow Q2(h11, m1) \\ H11 \leftarrow Rk2(t_{11}, h11, m1, ht1) \\ m1 \leftarrow \frac{H11 - h11}{ht1} \\ h11 \leftarrow H11 \\ W2 \leftarrow (t_{11} \ H11 \ Q111) \\ W1 \leftarrow \text{stack}(W1, W2) \end{array} \right. \\ W1 \end{array} \right. \quad (10)$$

С помощью разработанной модели получены графики изменения грузопотоков и уровня материала в бункере исследуемого погрузочного комплекса (рис. 2, 3). Произведенные вычисления позволили определить зависимости основных технологических параметров погрузочного комплекса поверхности шахты, таких как уровень заполнения бункеров, от работы шиберов и производительности промежуточных элементов. Графики показали, что колебания уровня заполнения бункера до различных величин приводит к изменению характеристик работы погрузочного комплекса.

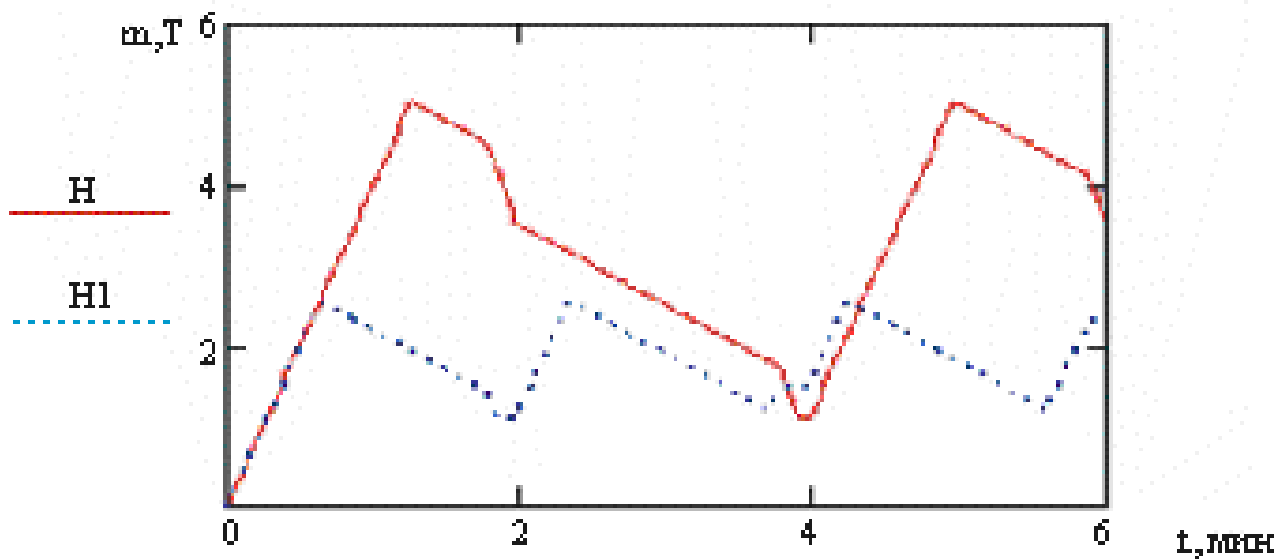


Рисунок 2 – Графики зависимости фактического уровня от времени

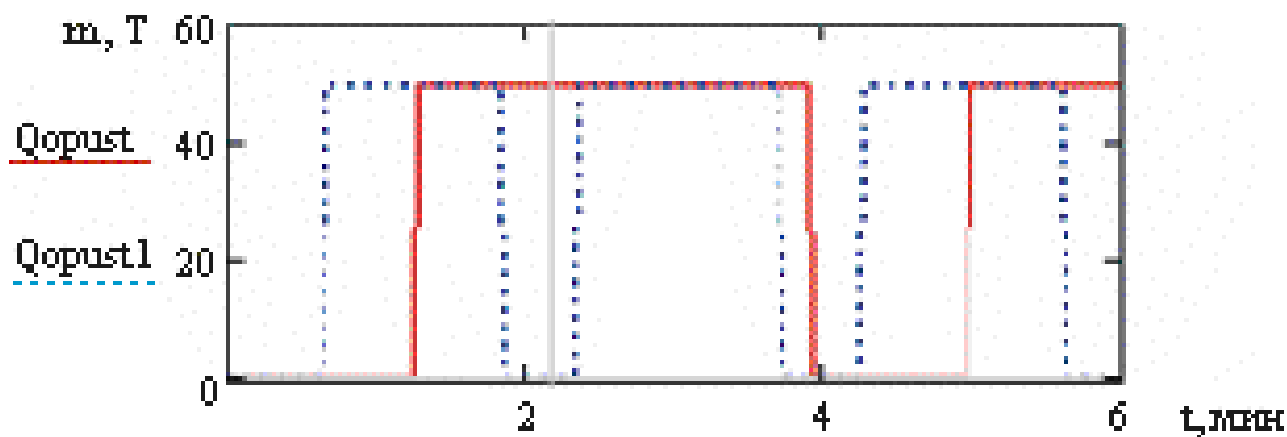


Рисунок 3 – График зависимости поступающего грузопотока от времени

Разработанная математическая модель позволяет исследовать зависимости основных технологических параметров погрузочного комплекса от изменяющегося во времени грузопотока, используя данные параметрической идентификации объекта.

Полученные зависимости дают возможность перейти к разработке системы автоматизации управления погрузочным комплексом шахты, которая будет обеспечивать удержание в заданных пределах уровень сыпучих в бункерах и ритмичность загрузки вагонов.

АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Синюкова Т.Б., ст.преп.; Нестеренко А.С., студент

(ГОУВПО Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР)

Основной проблемой угольной промышленности является метан. Проблема с метаном не дает возможности для реализации безопасной и эффективной работы на угольных шахтах. Нет возможности свести к минимуму количество аварийных ситуаций на шахтах без решения данной проблемы.

Важнейшая роль в нормализации шахтной атмосферы метанообильных угольных шахт, обеспечении безопасности ведения горных работ и создании нормальных климатических условий труда шахтеров принадлежит шахтной вентиляции.

Главной задачей вентиляции угольных шахт является достаточным количеством воздуха всех рабочих мест путем перемещения в подземных выработках. Цель – сокращение до приемлемого уровня состава метана в атмосфере. Содержание метана не должно превышать допустимой концентрации.

Рабочие объекты в современных шахтах делятся на выемочные участки, которые имеют обособленное проветривание. Это позволяет проветривать свежим воздухом все забои. В случае взрыва или пожара на одном из участков, ядовитые газы не поступают в другие забои. Количество воздуха, поступающего на участки при его естественном распределении по параллельным направлениям, часто не соответствует действительным потребностям. Для того чтобы решить проблему регулирования или перераспределения воздуха, необходимо применить автоматическую систему, которая позволит провести баланс чистого воздуха по участкам.

Система автоматического управления проветриванием (САУП) шахты предназначена для централизованного контроля концентрации метана и расхода воздуха в горных выработках, а также автоматического управления поступлению воздуха в шахту и его распределения между выемочными участками. Для поддержания необходимого вентиляционного режима управление осуществляется путем соответствующих воздействий на вентилятор главного проветривания и подземные регуляторы расхода воздуха.

САУП является самостоятельной по отношению к другим подсистемам АСУ ТП шахт. Она выполняет следующие функции:

- сбор и контроль информации о состоянии параметров шахтной атмосферы и технических средств системы;
- анализ состояния процесса проветривания и расчета управляющих воздействий;
- отображение информации о состоянии процесса проветривания и о работе САУП;
- отработка управляющих воздействий техническими средствами САУП.

Условно структуру системы автоматического управления можно разделить на две части: функциональную и обеспечивающую. Исходя из функциональных требований к САУП, функциональную часть в свою очередь можно представить с помощью двух модулей: информационного и управляющего.

Функциональная структура САУП представлена на рисунке 1. Представленная структура была разработана при работе над методами и алгоритмами автоматического проветривания угольных шахт [1].

Алгоритм управления проветриванием является неизменным по отношению к имеющемуся комплексу технических и вычислительных средств.

Техническое обеспечение представляет собой комплекс технических средств, на нижнем уровне которого находятся средства отбора информации. Средством отбора информации являются датчики измеряющие концентрацию метана и скорость воздуха на

участках ведущих выработку. Также ведется сбор информации по депрессии и по производительности вентиляторной установки. Вышеприведенные параметры имеют больший приоритет в реализации функции контроля, нежели другие, поскольку изменение на небольшие значения одного из вышеперечисленных параметров ведут к нестабильной ситуации. Технические средства, необходимые для контроля указанные параметры в настоящее время выпускаются серийно и соответствуют требованиям ГСП и имеют аналоговый унифицированный токовый сигнал [2].

Информационный модуль		Управляющий модуль	
Регистрация скорости воздуха на выемочных участках с помощью ИСВ и ввод информации на ЭВМ	Отображение информации на дисплее оператора САУП о концентрации метана, расходе воздуха на участках	Предварительная обработка (фильтрация, сглаживание, контроль, сжатие) оперативной информации	Выбор диспетчером САУП режима управления системой: ручной или автоматический
Регистрация концентрации метана на выемочных участках с помощью ДМТ и ввода информации в ЭВМ	Отображение информации о состоянии технических средств САУП на экране дисплея оператора САУП	Анализ состояния проветривания, анализ состояния САУП, анализ состояния АГЗ	Отработка управляющих воздействий на РРВ и РВГП в ручном режиме управления
Контроль положения штор РРВ с помощью датчиков ДПРРВ. Ввод информации в ЭВМ	Запись информации об аэрогазодинамической обстановке в память ЭВМ	Формирование сообщения для отображения на дисплее диспетчера САУП состояния данной системы	Отработка управляющих воздействий на РРВ и РВГП в автоматическом режиме управления
Контроль режимов ВГП: подача вентилятора, депрессия, частота вращения. Ввод информации в ЭВМ	Формирование протоколов об аэрогазодинамической обстановке на АЦПУ	Расчет управляющих воздействий в режиме автоматического управления	Формирование протокола работы САУП на АЦПУ
Контроль состояния каналов связи, датчиков. Контроль за срабатыванием АГЗ. Ввод информации в ЭВМ	Ведение архива об аэрогазодинамической обстановке и работе САУП в память ЭВМ	Прогноз состояния САУП при реализации выбранного режима управления. Формирование сообщений на экран диспетчера САУП	Контроль за отработкой управляющих воздействий РРВ и РВГП

Рисунок 1 – Функциональная структура САУП

Совокупность программных модулей САУП разбивается на следующие группы:

- 1 – программы и подпрограммы организации вычислительного процесса;
- 2 – функциональные программы (вызываемые периодически для реализации функций системы управления проветриванием);
- 3 – подпрограммы ввода-вывода базы данных;
- 4 – программы и подпрограммы контроля, тестирования, восстановления, начальной нагрузки.

В организации вычислительного процесса главную роль выполняет программный диспетчер, в обязанности которого входит организация синхронизации вызовов программ и подпрограмм в соответствии с общесистемным алгоритмом управления. Также программный диспетчер контролирует распределение ресурсов вычислительной системы и наблюдает за очередями к ним [3].

Программное обеспечение САУП работает под управлением операционной системы, которая реализована совместно с диспетчером памяти. Диспетчер устанавливает задачи в системе реального времени и инициализирует их посредством заданного интервала времени.

Вопросы совершенствования вентиляции метанообильных шахт всегда актуальны и поэтому технологии проектирования САУП постоянно совершенствуются. Разрабатываются новые алгоритмы контроля и управления проветриванием шахт. При этом основным принципом данных алгоритмов является распознавание конкретной газовой ситуации, а также параметров подачи воздуха в горные выработки [4].

На данный момент существуют две концепции управления [5]:

- активное регулирование (изменение производительности вентиляторных установок);

– пассивное регулирование (воздействие на вентиляционную струю с помощью регулируемой решетки вентиляции РРВ).

При создании САУП очень важно уделять внимание каждому проектируемому элементу, поскольку важна каждая составляющая часть такой сложной системы.

Поэтому приемлемым было бы создание САУП, техническая оснащенность которой базировалась бы на самых современных системах контроля метана и скорости воздуха. А разработка математической модели и алгоритмов всегда должна представлять собой важнейшую интеллектуальную часть разработки или модернизации САУП, также позволяющую значительно расширить возможности в управлении аэрогазодинамикой.

Несмотря на то, что системы вентиляции современных шахт находятся на должном уровне, и применяемые САУП в процессе эксплуатации зарекомендовали себя достаточно надежными и эффективными, между тем в связи со всеобщим переходом на компьютерную технику следующего поколения и с развитием технологий и средств программирования, встает необходимость в модернизации и дополнении ее программной среды.

Современные требования высокой оперативности управления вентиляцией вызывают расширение числа выполняемых функций и приводят к необходимости создания иерархических микропроцессорных систем управления проветриванием. Применение микропроцессоров в локальных системах управления, обеспечивающих участковые режимы проветривания, и управляющих персональных ЭВМ на более высоких уровнях, обеспечит децентрализацию функций контроля, обработки информации и управления.

Анализ результатов опытной эксплуатации САУП показал, что способность системы автоматически перераспределять воздушные потоки и изменять их скорость не исключает полностью человека-оператора из цикла управления, оставляя за ним принятие весьма ответственных решений, как в процессе перенастройки системы, так и в случае нештатных ситуаций.

В качестве средства, повышающего обоснованность и надежность принимаемых человеком решений, может выступить специальная программная система поддержки диспетчера вентиляции, осуществляющая мониторинг и диагностирование текущего состояния шахтной атмосферы. Построение такой системы поддержки возможно только на базе модели с использованием искусственного интеллекта.

Развитие модели диагностирования объекта протекает в нескольких направлениях:

- в модель вводится матрица маскирования (не появления) симптомов;
- вместо матриц влияния и связи моделей вводятся матрицы минимального и максимального влияния аномалий на симптомы;
- в список аномалий объекта добавляются аномалии внешней среды объекта;
- в модели может учитываться априорная информация о наличии аномалии объекта;
- алгоритмы логического вывода порождаются задачей оптимизации и истинности «аксиомы», связывающие аномалии, симптомы, матрицы влияния и маскирования.

Шахтная атмосфера представляет собой непрерывный объект диагностирования. Модель диагностирования объекта можно представить в виде таблицы функции неисправности, каждая строка которой соответствует результатам определенной проверки (аномалии), а столбец – определенному параметру, подлежащему контролю (признаку). С использованием подобных таблиц может быть решена главная задача диагностирования – определение состояния объекта по результату совокупности проверок. Множество проверок должно быть выбрано таким образом, чтобы нормальное и аномальное состояние объекта были различны между собой.

Выбор такой совокупности проверок, которая позволяет обеспечить различимость состояний, является обратной задачей диагностирования.

Элементы таблицы, о которой упоминается выше, а также результаты проверок принимают значения в диапазоне $[0, 1]$. Истинности суждений о наличии аномалии или признака принимают значения из промежутка $[0, 1]$. Маскирование признаков при наличии соответствующей аномалии возникает в случае неисправности датчиков.

Основная аксиома модели диагностирования является дизъюнкцией следующих аксиом:

1. «Если нет оснований для появления признака, то он не появляется».
2. «Если есть основания для появления признака и нет оснований для его маскирования, то он появляется».
3. «Попарные импликации между аномалиями вытекают из попарных связей между ними».

Истинность является функцией взаимно-логического распределения аномалий и признаков (логический аналог метода максимального правдоподобия в математической статистике).

Схема взаимодействия диспетчера и компонентами АСУТП представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема взаимодействия диспетчера с компонентами АСУТП

Перечень ссылок

1. Пучков Л. А., Бахвалов Л. А. Методы и алгоритмы автоматического управления проветривания угольных шахт. – М.: Недра, 1992. – 389 с.
2. Карпов Е. Ф., Баренберг И. А., Басовский Б. И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1984. – 221 с.
3. Бахвалов Л. А. Синтез алгоритмов адаптивного управления проветриванием метанообильных угольных шахт: Дис. докт. техн. наук. – М., 1989. – 123 с.
4. Петров Н. Н., Зырянов С. А. Система автоматизированного управления проветриванием шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – ОВ 13. – С. 9–15.
5. Пшонко О. М. Галкин В. С. Белишев А. А. Перспективы развития автоматизированных систем аэрогазового контроля и управления технологическим оборудованием шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 11. – С. 328 – 333.

ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЗАГОРОДНЫЙ ПОСЕЛОК

Скаморин М.А., магистрант; Вольников М.И., к.т.н., доц.

(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Российская Федерация)

Экономия и достоверный учёт потребляемой электроэнергии – актуальная задача повышения энергоэффективности в промышленности, гражданском строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве. Энергоучёт позволяет поддерживать конкурентоспособность в условиях постоянно растущих тарифов. Без этого нельзя отследить эффективность мероприятий в программе энергосбережения. Наиболее важным действием к достижению точного учёта энергопотребления является введение АСКУЭ.

АСКУЭ – Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии. Данная трактовка определена правилами приборного учета электрической энергии. Однако в различных информационных источниках вместо слова «Контроля» мы можем встретить «Коммерческого», вместо «Электроэнергии» – «Энергоресурсов».

В некоторых странах часто применяют аббревиатуру АИИСКУЭ (автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии), также можно встретить аббревиатуру АСТУЭ (Т – технического). Для учёта иных ресурсов используются другие автоматизированные системы, например: АСКУГ (газ), АСКУТ (тепло) и т.д. Возможны также и интегрированные системы учёта, соединяющие учёт различных ресурсов, общего обозначения для которых пока не придумано.[1]

Особое внимание стоит заострить на функциях системы:

1. учёт потребления электроэнергии с наивысшей точностью, используя соответствующие технические средства с высоким классом точности – приборы учета электроэнергии, измерительные трансформаторы тока и напряжения;
2. сбор и хранение данных о потребленной электроэнергии посредством УСПД;
3. ведение единого системного времени с возможностью его корректировки;
4. передачу полученных данных на другие информационные уровни - в базы данных серверов как самого объекта учета (АРМ энергетика и диспетчеров), так и энергосбытовых организаций (АРМ инспекторов, системных инженеров) и общереспубликанских центров хранения и анализа данных, используя при этом различные каналы и среды для передачи данных, в том числе и резервные;
5. анализ и выработку управляющих воздействий на прочие технические средства, при выходе учитываемых параметров электроэнергии за заданные пределы.

Принцип работы АСКУЭ содержится в организации трехуровневой системы, на каждом этапе которой происходят определенные действия. Качество системы зависит от работы на каждом уровне (рисунок 1).

Нижний уровень – непосредственно приборы учета, электронные счетчики, которые располагаются у каждого потребителя электроэнергии в сети индивидуально. Кроме того, имеются специальные датчики, которые способны аналогично счетчикам преобразовывать сигнал. Серьезным минусом в работе на первом уровне является ограничение количества подключаемых датчиков к системе, так как стандартный интерфейс контроллера может принимать только 32 датчика.

Средний уровень - на данном уровне находятся связующие элементы, поддерживающие работы все сети. Как правило, для этого используются преобразователи, которые изменяют сигнал от первого уровня и передают его к аппарату на 3 уровень, оборудованному специальным программным обеспечением. Поддерживает подключение большого количества приборов концентратор.

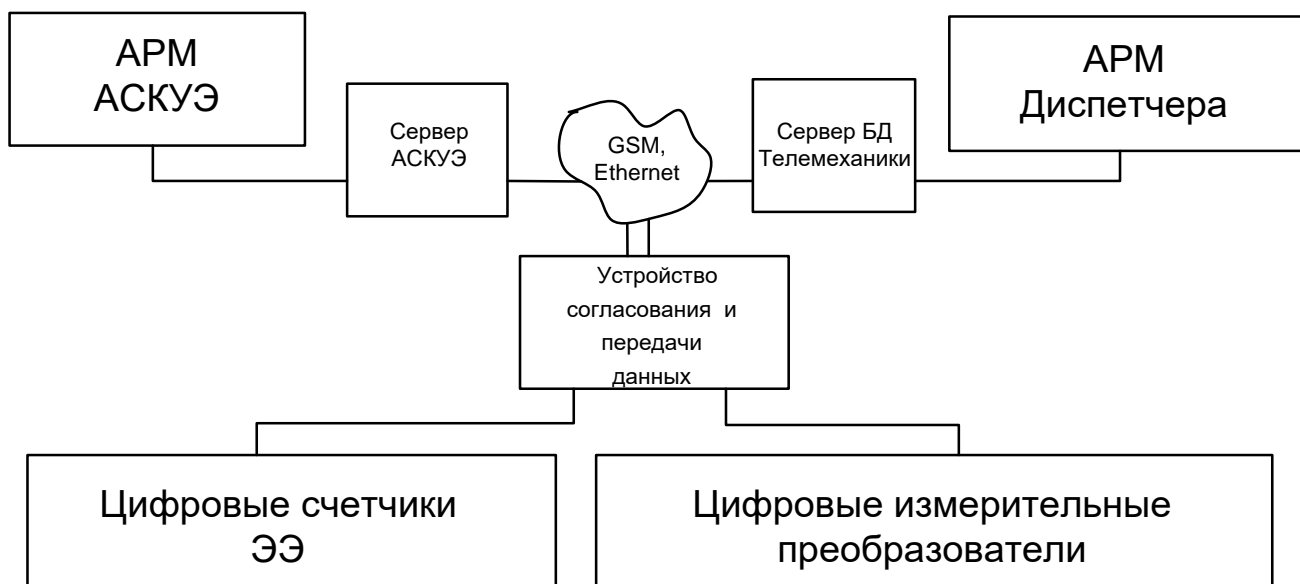


Рисунок 1 – Уровни иерархии АСКУЭ

Верхний уровень – на данном уровне собираются данные со всех счетчиков учета. Полученные данные проходят обработку и анализ, поэтому для этого устанавливаются устройства с компьютерным ПО. Кроме того, на этом уровне происходит организация всей системы и контроль над ее работой.

Автоматизация учёта электрической энергии стала возможна благодаря изобретению и выводу на рынок электронных счётчиков, которые также называют интеллектуальными или «умными». Электронный прибор коммерческого учёта – это базовый компонент АСКУЭ, первичный источник получения информации для остальных уровней системы.

В загородных поселках часто возникают проблемы с применением беспроводных технологий, таких как GSM, GPRS и др. в виду отсутствия стабильной радиосвязи. Эти же проблемы возникают и с применением сети интернет, также в виду отсутствия кабельных линий. На помощь приходят технологии передачи данных по силовым электросетям – PLC (Power Line Communication) технологии.

На смену хорошо зарекомендовавшим себя проводным технологиям PLC: PLC-I и PLC-II пришла на смену более современная. Сегодня пользователям доступны технологии PLC третьего поколения. Если в 2005 г. с появлением стандарта HomePlug AV скорость передачи данных поднялась с 14 до 200 Мбит/с (этого достаточно для предоставления так называемых Triple Play услуг, когда пользователям одновременно предоставляются высокоскоростной доступ в интернет, кабельное телевидение и телефонная связь), то последнее поколение PLC использует уже двойной физический уровень передачи данных – Dual Physical Layer. Вместе с FFT OFDM применяется Wavelet OFDM-модуляция, то есть ортогональное частотно-разделенное мультиплексирование, но с применением вейвлетов. Это позволяет в несколько раз поднять скорость передачи данных – до 500 Мбит/с [2].

Однако важно понимать, что речь идет о физической скорости. Реальная скорость передачи данных зависит от многих обстоятельств и может быть гораздо меньше. Качество проводки в доме, скрутки в линии – это негативно влияет и на физическую скорость и качество передачи данных.

На вводе жилых зданий абонентов устанавливаются счетчики со встроенными PLC модемами. Также при необходимости возможна организация внутриселского учета путем установки трехфазных многотарифных приборов для учета расходования электрической энергии на освещение мест общего пользования (рисунок 2) [3].

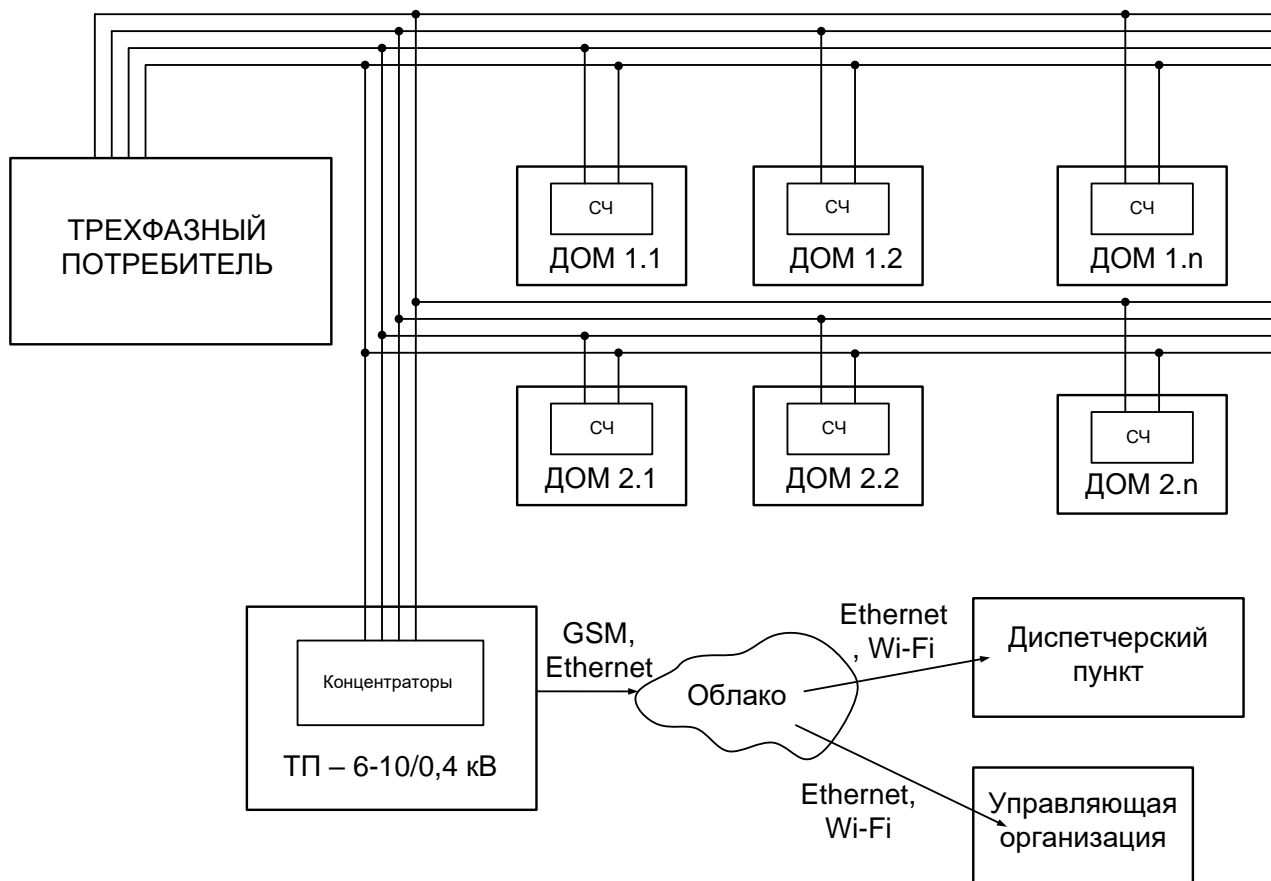


Рисунок 2 – Внедрение АСКУЭ загородного поселка

Приборы учета электроэнергии объединяются в единый комплекс с устройством сбора и передачи данных УСПД, расположенным в шкафу АСКУЭ в помещении трансформаторной подстанции или электроцитовой, по низковольтным электрическим сетям (0,38 кВ) посредством стационарных PLC модемов, установленных на каждой из фаз питающих линий [4].

В помещении трансформаторной подстанции устанавливаются трехфазные многотарифные приборы учета, например, Меркурий 203.2TD (рисунок 3), имеющие класс точности 0,5 (1,0) и обеспечивающие суммарный учет по каждой отходящей линии. Сбор информации на УСПД осуществляется по фрагменту локальной промышленной шины ЕІА485.



Рисунок 3 – прибор учета электроэнергии Меркурий 203.2TD

Стоит выделить основные преимущества счётчиков с PLC-модемом:

1. Простота монтажа и эксплуатации. Для установки не нужно прокладывать отдельные кабели, сверлить стены, использовать специальные инструменты и навыки.
2. Связь по силовым линиям более стабильна, чем Wi-Fi.
3. Удобна для пользователей (автоматическая передача показаний счетчика) и ресурсоснабжающих организаций (высокая точность переданных от потребителей данных, возможность вычислять суточное количество потраченной энергии и собирать другую статистическую информацию).

Преимущества, получаемые от ввода системы сбора данных [5]:

1. Своевременный учёт расхода электроэнергии каждым пользователем сети без необходимости прямого доступа к приборам учёта для проверки показаний.
2. Отслеживание технического состояния и выявление неисправных счётчиков электроэнергии.
3. Устраняется возможность безнаказанного хищения электроэнергии и других нарушений со стороны конечных потребителей электроэнергии
4. Предоставляется возможность расчета за потребляемую электроэнергию по нескольким тарифам.

Таким образом, изучив все особенности АСКУЭ и в частности PLC-технологии, приходим к выводу, что внедрение системы PLC выводят жизнь в загородных поселках на совершенно новые уровни и вырисовывают головокружительные перспективы комфортного проживания, исключают хищения электроэнергии.

Перечень ссылок

1. Гуртовцев А.Л. О происхождении и значении термина “АСКУЭ”, “Промышленная энергетика”, 2003, №8, 5 - 6 с.
2. Материалы сайта «Актуальные проблемы энергетики» [Электронный ресурс] – URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/34259> – Свободный доступ
3. Данилин А.В, Захаров В.А. Принципы построения и работы АСКУЭ - Мир измерений. №1.- 2001 - с.12-17.
4. Забелло Е.П., Гуртовцев А.Л. Экономическая эффективность АСКУЭ - Промышленные АСУ и контроллеры. №2.-2004. с.15 - 19.
5. Материалы сайта «Инкотекс Меркурий» [Электронный ресурс] – URL: <https://www.incotexcom.ru/catalogue/m203-2td> – Свободный доступ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВВОД РЕЗЕРВА С КОНТРОЛЕМ СОСТОЯНИЯ ПЕРЕГРУЖЕННОСТИ ЛИНИИ И АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ НЕ ПРИОРИТЕТНЫХ ЛИНИЙ ПИТАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УДАЛЕННОЙ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ СОСТОЯНИЯ ЛИНИЙ ПИТАНИЯ

Соленый С.В., доц. к.т.н., Квас Е.С., асс., Рысин А.В., магистрант

(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Автоматический ввод резерва (АВР) – это устройство которое подключает резервный или дополнительный источник питания к сети электроснабжения, в случае аварии на основном источнике питания, а также включение и выключение выключателя, осуществляющего деление сети. АВР должны быть установлены на всех потребителях первой категории. Эти потребители могут быть обеспечены электроэнергией от двух и более независимых взаимно резервирующих источников питания.

К первой группе потребителей относят электроустановки, длительный перерыв в электропитании которых может привести к угрозе жизни и безопасности людей или большому материальному ущербу. Можно обеспечить питание электроэнергией поставив несколько источников электроэнергии в параллельную работу в одной сети электроснабжения, однако это имеет свои недостатки:

Токи короткого замыкания, при параллельной работе источников питания, гораздо выше, чем при раздельном питании потребителей.

Релейная защита сложнее, чем при раздельном питании.

Необходим учет перетоков мощности, вызывающий трудности, связанные с выработкой определённого режима работы системы.

При проектировании схемы АВР с установкой секционного выключателя, следует учитывать мощность источника питания электросистемы. Иначе при переключении питания на один источник электроэнергии может быть перегрузка, которая выведет электрическую систему из строя, так как источник не сможет справиться с суммарной нагрузкой обеих систем. В том случае, когда нельзя подобрать такой источник питания, обычно предусматривают такую логику защиты, которая отключит наименее важных потребителей тока обеих систем.

Этих потребителей так же можно разделить на 3 группы по важности и производить отключение начиная с 3 группы. Алгоритм работы системы представлен на рис. 1 и рис. 2.

АВР разделяют на:

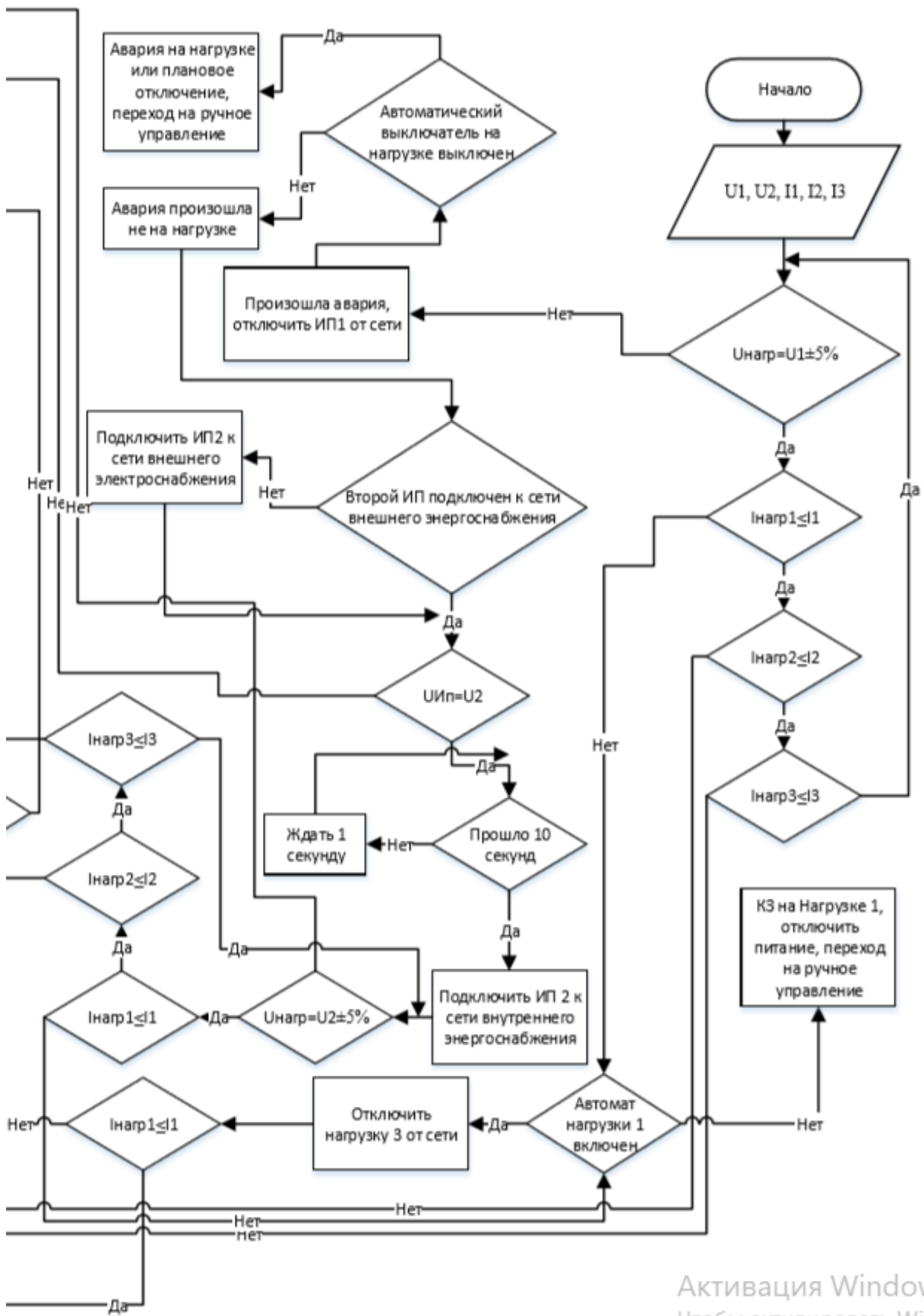
АВР одностороннего действия. В таких схемах присутствует одна рабочая секция питающей сети, и одна резервная. В случае потери питания рабочей секции АВР подключит резервную секцию.

АВР двухстороннего действия. В этой схеме любая из двух линий может быть, как рабочей, так и резервной.

АВР с восстановлением. Если на отключенном источнике питания вновь появляется напряжение, то с задержкой по времени он включается в сеть, а секционный выключатель отключается. Если кратковременная параллельная работа двух источников не допустима, то сначала отключается секционный выключатель, а затем включается вводной.

АВР без восстановления.

АВР должен срабатывать однократно, так как недопустимо многократно включать резервный источник питания в электросистему с не устранённой аварией.



Активация Windows
Чтобы активировать Windo

Рисунок 1 - Блок-схема управления АВР

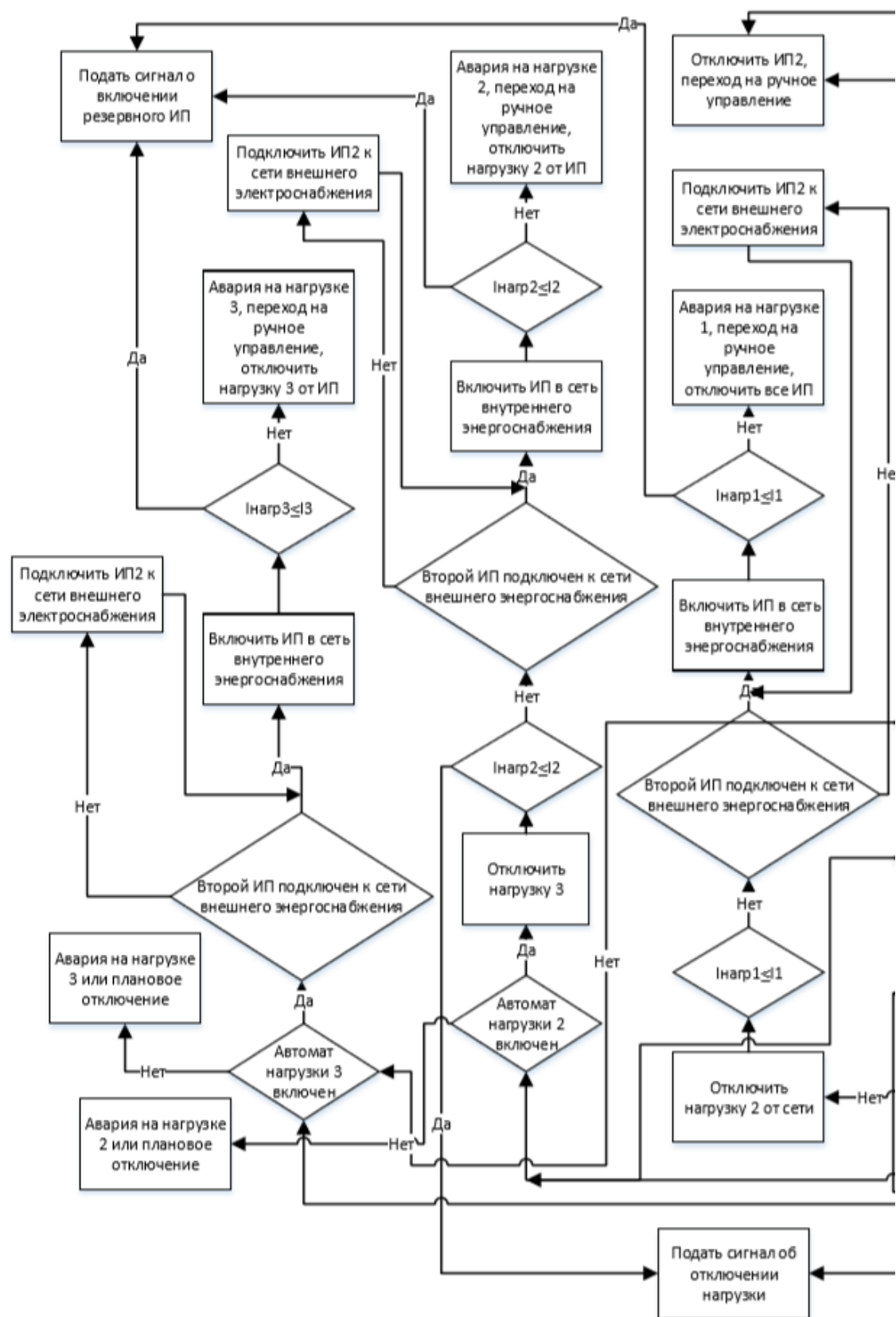


Рисунок 2 - Продолжение блок-схемы управления АВР.

АВР должен срабатывать всегда при исчезновении напряжения на шинах потребителя, независимо от причины. В случае работы схемы дуговой защиты АВР может быть заблокирован, чтобы уменьшить повреждения от короткого замыкания. В некоторых случаях требуется задержка переключения АВР. К примеру, при запуске мощных двигателей в сети возникает просадка напряжения, которое АВР должна проигнорировать. [1]

Принцип действия:

Реализацию схем АВР осуществляют с помощью средств релейной защиты и автоматики (РЗА): реле различного назначения, цифровые блоки защит (контроллеры АВР), переключатели – устройства, включающие в себя механическую коммутационную часть, микропроцессорный блок системы управления и панель индикации и управления.

В качестве измерительного органа для АВР в высоковольтных сетях служат трансформаторы тока и реле минимального напряжения (реле контроля фаз), подключённые к защищаемым участкам через трансформаторы напряжения. В случае роста тока нагрузки выше номинального значения, на контроллер посылаётся сигнал о перегрузке, после чего принимается решение: подключить резервный источник питания (если это возможно) или отключение третьей группы потребителя. Также в случае просадки напряжения на защищаемом участке электрической сети реле даёт сигнал в схему АВР. Однако, условие отсутствия напряжения не является достаточным для того, чтобы устройство АВР начало свою работу. Как правило, должен быть удовлетворён ещё ряд условий:

На защищаемом участке не должно быть не устранённых аварий (например, короткого замыкания). Если понижение напряжения связано с коротким замыканием, включение дополнительных источников питания в эту цепь нецелесообразно и недопустимо.

Вводной выключатель должен быть включён. Это условие проверяется, чтобы АВР не сработало, когда напряжение исчезло из-за того, что вводной выключатель был отключён намеренно для регламентных работ или т.п.

После проверки выполнения всех этих условий логическая часть АВР даёт сигнал на отключение вводного выключателя обесточенной части электрической сети и на включение межлинейного (или секционного) выключателя. Причём, межлинейный выключатель должен включаться только после того, как вводной выключатель отключился.

Коммутационная аппаратура автоматического переключения – устройства автономного действия, состоящая из коммутационного аппарата (аппаратов) переключения и других устройств, необходимых для контроля цепей питания и переключения одной или нескольких цепей нагрузки от одного источника питания к другому.

Автоматические переключатели питания делятся на оборудование: постоянного тока, переменного тока, использующие релейно-контакторные схемы, с непрерывной подачей питания при переключении нагрузок, источники бесперебойного питания.

При автоматическом переключении обеспечивается гарантированное электропитание, когда допускается, перерыв на время ввода в действие резервного источника. Бесперебойное электропитание с "мгновенным" вводом в действие резервного источника обеспечивает источник бесперебойного электропитания.

Возможно использование автоматической коммутационной аппаратуры не только во время длительных отключений рабочего источника питания, но и при кратковременных провалах напряжения. Если допустимое время перерыва питания меньше 0,2 с возможно только использование источников бесперебойного питания, защита автоматическими выключателями цепи с коротким замыканием для уменьшения времени перерыва питания в таком случае невозможна или неэффективна. Если допустимое время более 0,2 с возможно использование защит электросети или использование источников бесперебойного питания. При допустимом времени 5...20 с возможно отказаться от источников бесперебойного питания и использовать автоматическую коммутационную аппаратуру [2].

Перечень ссылок

1. Автоматическое включение резерва//Энциклопедия современной техники. Автоматизация производства и промышленная электроника. Том 1 (А – И) —М.: Советская энциклопедия, 1962

2. М. А. Беркович, А. Н. Комаров, В. А. Семенов Основы автоматики энергосистем. — М.: Энергоиздат, 1981. —432 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В УЗЛАХ ПОВОРОТНОГО МОТОР-КОЛЕСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ НАГРУЗКИ

Соленый С.В., доц. к.т.н., Попков Д.Е., магистрант, Городецкая А.В., магистрант
(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Создание мобильного робота (далее – МР) является достаточно сложной задачей, требующей определенных навыков и знаний во многих областях прикладной науки. Отдельного внимания заслуживает конструкция МР: именно она определяет будущий функционал и мобильность любой платформы. Важную часть в проектировании конструкции МР занимает достижение необходимых показателей по прочности и надежности узлов, из которых наиболее уязвимыми элементами являются поворотные механизмы (далее – ПМ): в своей конструкции они имеют приводы (сервоприводы, шаговые двигатели и другие), которые крайне чувствительны к перегрузкам, возникающим при упругих деформациях узлов. В связи с этим возникает необходимость проверки спроектированной конструкции ПМ до этапа изготовления. Современные системы автоматического проектирования (далее – САПР) позволяют использовать встроенные алгоритмы моделирования для обнаружения уязвимых участков ПМ.

В качестве объекта исследования выбрана модель поворотного узла (рисунок 1), разработанная в САПР SolidWorks.

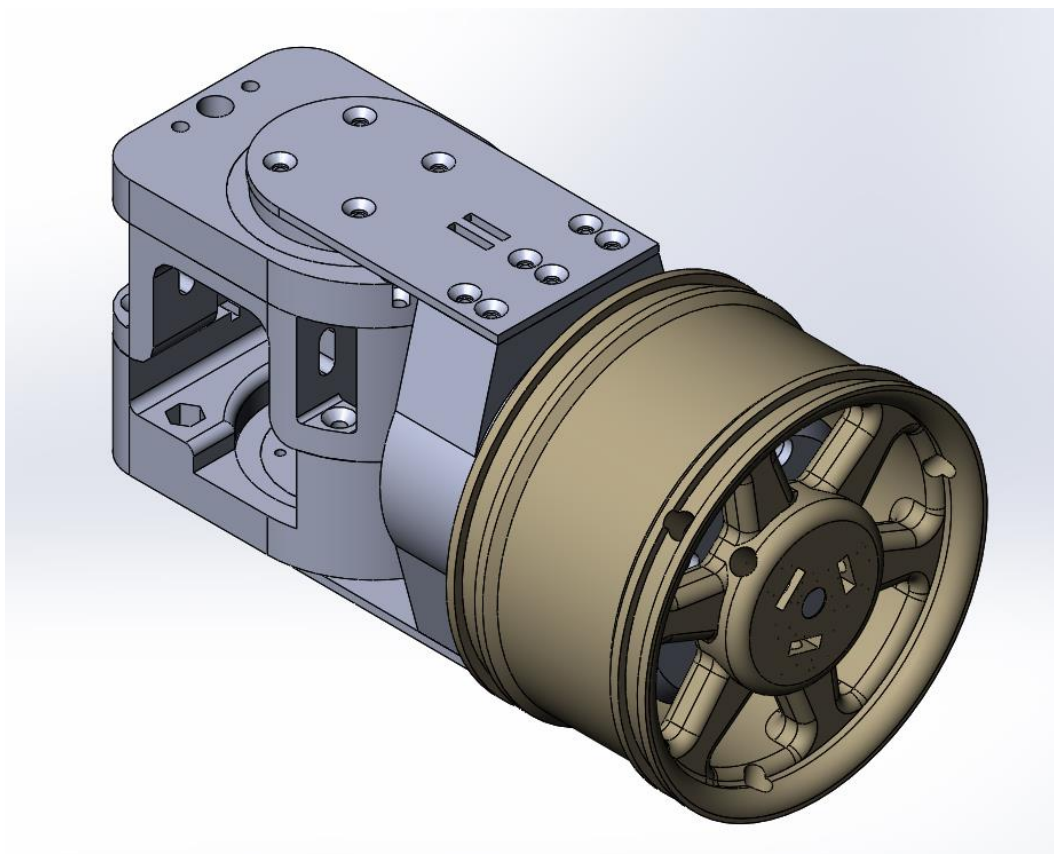


Рисунок 1 – Внешний вид модели поворотного узла

На рисунке 2 представлен разрез модели с необходимыми пояснениями.

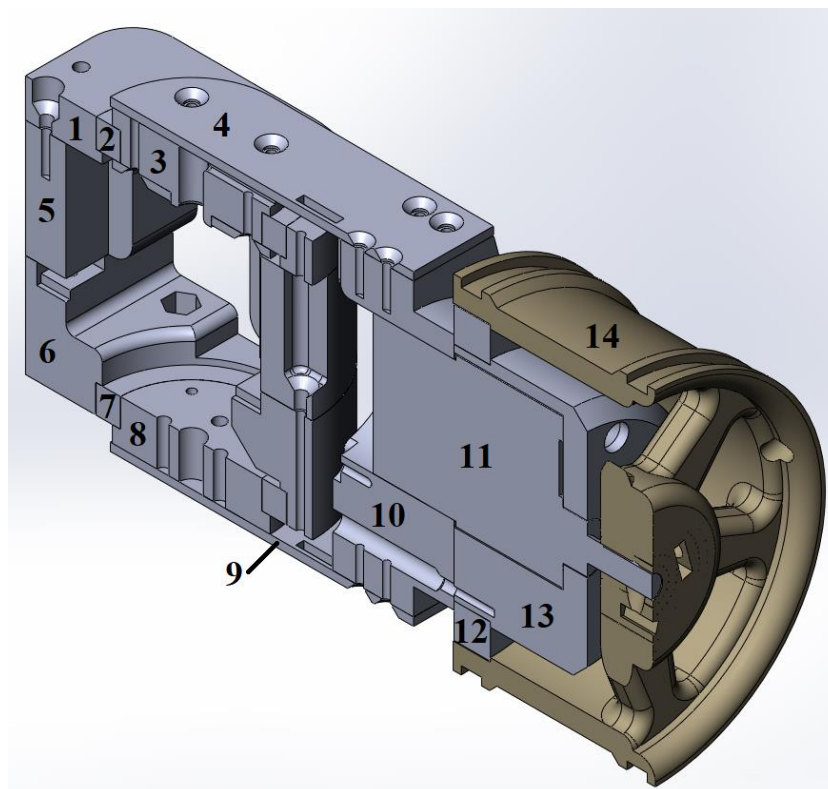


Рисунок 2 – Модель поворотного узла в разрезе: 1 – крышка оболочки сервопривода; 2 – верхний подшипник; 3 – верхняя втулка; 4 – верхняя балка; 5 – корпус оболочки сервопривода; 6 – кронштейн сервопривода; 7 – нижний подшипник; 8 – нижняя втулка; 9 – нижняя балка; 10 – колесо мотор-колеса; 11 – двигатель постоянного тока (далее – ДПТ); 12 – подшипник мотор-колеса; 13 – стакан ДПТ; 14 – диск мотор-колеса

Для каждого элемента модели был назначен соответствующий материал. Материал всех элементов кроме ДПТ, подшипников и балок – пластик ABS.

Наиболее чувствительной к деформациям частью конструкции является сервопривод. Отклонение его оси от нормального положения приводит к появлению дополнительных моментов сопротивления на валу и, как следствие, к возрастанию потребляемой мощности из-за наличия платы управления, которая старается поддерживать заданный угол поворота вала за счёт увеличения тока обмотки. Длительное протекание большого тока может повлечь за собой перегрев и порчу обмотки и платы управления. Следовательно, чтобы не допустить отклонений вала, необходимо обеспечить минимальные напряжения в области нижней втулки, к которой крепится вал сервопривода.

Для упрощения расчёта диск мотор-колеса, а также сам сервопривод не участвуют в моделировании. При этом оболочка сервопривода жестко зафиксирована сверху и снизу, а сила прикладывается к валу ДПТ и подшипнику мотор-колеса.

На рисунках 3 – 5 приведены эпюры напряжений в плоскости сечения, совпадающего с плоскостью разреза. Значения силы, прикладываемой к валу ДПТ и подшипнику мотор-колеса, равняются 10, 50 и 100 Н соответственно. Максимальные значения напряжений находятся в области вала ДПТ и составляют примерно 80% от прилагаемой нагрузки. Учитывая тот факт, что данная модель ДПТ является условной, а основную нагрузку, прилагаемую к колесу, принимает на себя подшипник, принимать во внимание данные значения не следует.

Как видно из эпюр, значения напряжений в области нижней втулки для всех трёх значений нагрузки приближаются к нулю, а значения напряжений в других частях модели из пластика ABS не превышают 1 МПа. При этом, предел прочности пластика данного вида на изгиб составляет 41 МПа, а на разрыв – 22 МПа. Иными словами, предложенная конструкция является прочной и надёжной.

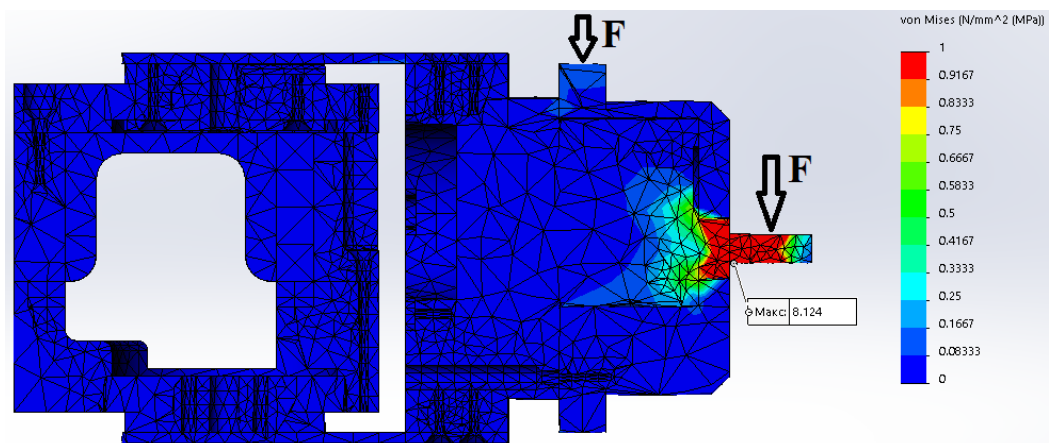


Рисунок 3 – Эпюра напряжений для сечения разреза модели ПМ при $F = 10\text{ N}$

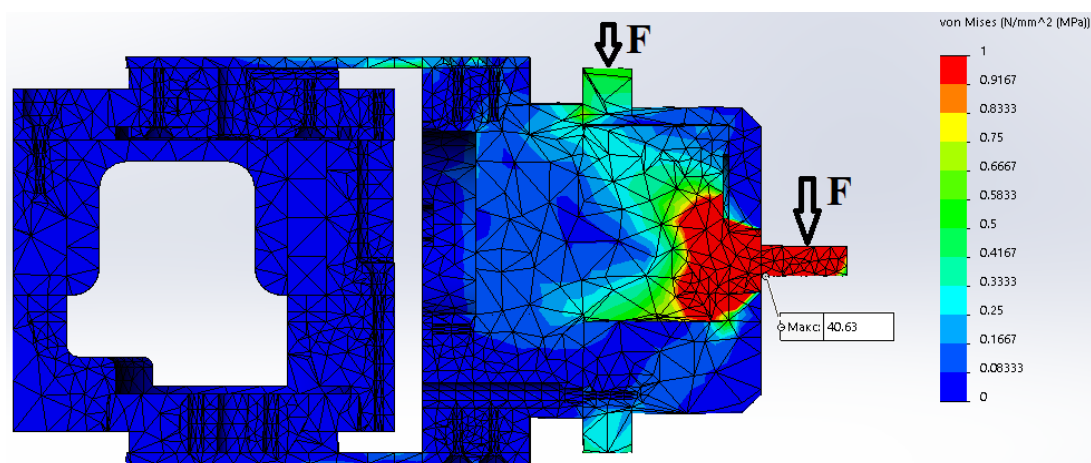


Рисунок 4 – Эпюра напряжений для сечения разреза модели ПМ при $F = 50\text{ N}$

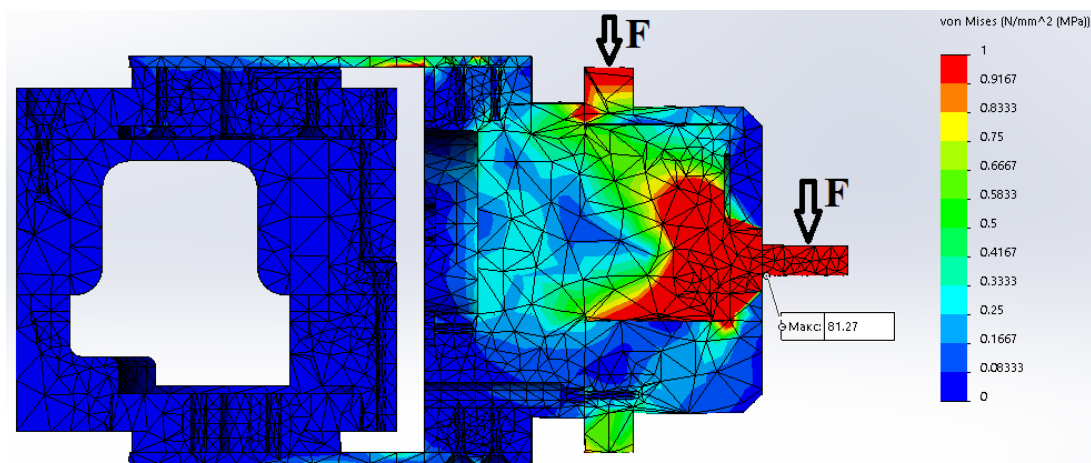


Рисунок 5 – Эпюра напряжений для сечения разреза модели ПМ при $F = 100\text{ N}$

Таким образом, моделирование нагрузок, с которыми придется сталкиваться конструкции МР, позволяет ещё на этапе проектирования делать предварительные заключения о пригодности тех или иных используемых решений. Поэтому в настоящий момент данный инструмент анализа является не просто возможностью, а необходимой частью проектирования МР.

Перечень ссылок

1. Справка по SOLIDWORKS [Электронный ресурс]. URL: <http://help.solidworks.com/2017/russian/solidworks.htm> (Дата обращения: 01.04.19)

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОХОДЧЕСКИМ КОМБАЙНОМ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Сорокин А.И., магистрант; Троян В.В., магистрант; Лавшонок Е.Ю., ассистент
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Эффективность проходческих работ связана с минимизацией простоев на выполнение вспомогательных технологических операций. Минимизация простоев напрямую связана с применением эффективных систем автоматизации проходческих комбайнов. Далее рассмотрены усовершенствованные функциональная и структурная схемы микропроцессорной системы управления проходческим комбайном избирательного действия на примере комбайна КСП-32. КСП-32 - проходческий комбайн избирательного действия со стреловым исполнительным органом, предназначен для проведения подготовительных горных выработок в шахтах, опасных по газу и угольной пыли. КСП-32 имеет гидравлический привод питателя и гусеничного хода, что позволяет эксплуатировать комбайн в условиях высокой обводненности подготовительной выработки. Осуществляет механизированное разрушение горной массы, удаление её из подготовительного забоя и погрузку отбитой горной массы на транспортные средства, для её удаления из выработки[1].

Проходческий комбайн входит в состав комплекса технологического процесса проведения подготовительной выработки шахты. Схема технологического процесса проведения подготовительной выработки шахты представлена на рисунке 1. Помимо него в состав комплекса технологического процесса проведения подготовительных выработок входят вентилятор местного проветривания и одноконцевая откатка либо скребковый конвейер, которые осуществляют операции проветривания тупиковой выработки и транспорта отбитой горной массы из подготовительного забоя[2].

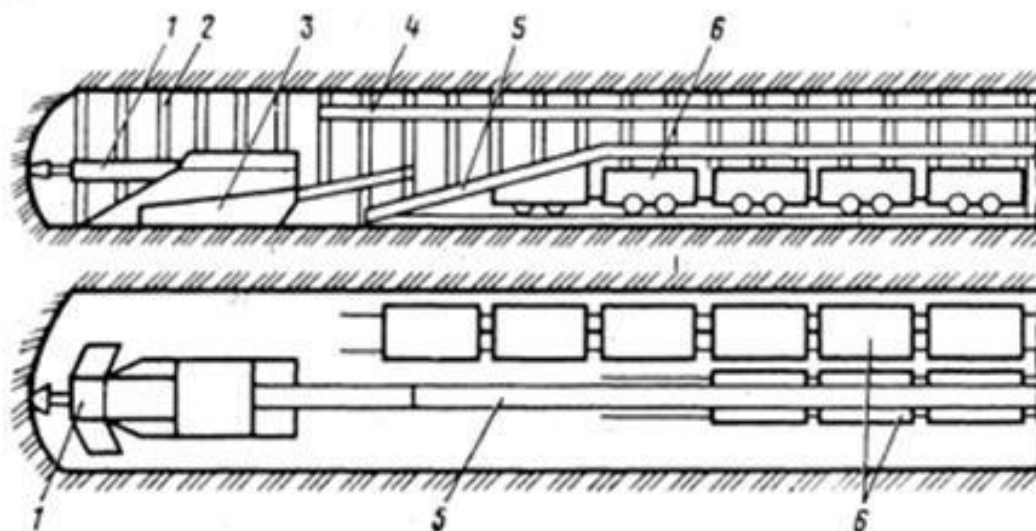


Рисунок 1 – Схема технологического процесса проведения подготовительной выработки шахты

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: 1 – стрела проходческого комбайна; 2 – арочная крепь; 3- проходческий комбайн; 4 – вентиляционная труба вентилятора местного проветривания; 5 – скребковый конвейер; 6 – вагонетки.

Автоматизация проходческого комбайна избирательного действия со стреловым исполнительным органом преследует следующие социально-экономические цели:

1) Увеличение производительности. Производительность комбайна может быть улучшена за счет увеличения скорости прохождения выработки (м/сут, м/смен), уменьшение потребления электроэнергии при сохранении производительности. Эти цели могут быть достигнуты следующим образом:

- регулированием скорости резания исполнительного органа в зависимости от крепости разрушаемой горной породы путем применения частотно-управляемого привода исполнительного органа;

- стабилизацией тока привода исполнительного органа путем изменения скорости подачи, путем применения дроссельного или объемного регулирования подачи рабочего тела в гидродомкраты перемещения режущей коронки комбайна;

2) Увеличение ресурса комбайна. Современные комбайны в среднем имеют ресурс прохождения выработки общей длиной 1000 м, после чего подлежат замене или капитальному ремонту. Оптимальная эксплуатация комбайна может значительно повысить его ресурс в целом и включает в себя:

- защиту электрогидрораспределителя от пусковых токов;

- защита электроприводов от длительных пусковых токов при незавершившемся пуске;

- исключение лишних присечек породы, которое увеличивает ресурс резцов исполнительного органа;

3) Повышение безопасности эксплуатации комбайна. Проходческий забой представляет опасность обрушением кровли, выделением метана при проведении выработок в газоносных породах. Повысить безопасность труда можно путем:

- применения дистанционного управления проходческим комбайном, позволяющей оператору комбайна управлять горной машиной в пределах зоны видимости из более безопасного места (отдаленность дистанционного пульта управления от забоя может быть до 25 метров);

- автоматическое ограничение производительности комбайна в зависимости от повышения концентрации метана в забое подготовительной выработки;

4) Сокращение численности обслуживающего персонала. На данный момент проходческие комбайны избирательного действия имеют малую степень автоматизации, все процессы комбайновой проходки – такие, как перемещение комбайна, обработка забоя стреловым исполнительным органом, возведение арочной крепи, прокладка рельсового пути – требуют непосредственного участия большого количества обслуживающего персонала проходческого забоя;

5) Повышение качества проводимой выработки. На сегодняшний день, подавляющее большинство проходческих комбайнов, эксплуатирующийся на шахтах Донбасса, имеют ручное вождение перемещением комбайна и обработкой забоя режущей коронкой. При этом, точность формы выработки, ее соответствие заданному направлению полностью зависят от машиниста комбайна, который допускает отклонения даже при высокой квалификации. Это обуславливает применение следующих методов повышения качества проводимой выработки:

- контроль направления проводимой выработки;

- программное управление обработкой забоя исполнительным органом, предусматривающее вождение исполнительного органа по заданной образцовой траектории, записанной в память системы автоматизации[3].

На рисунке 2 приведена функциональная схема автоматизации проходческого комбайна КСП-32. Опишем работу функциональной схемы автоматизации проходческого комбайна. Система управления включает и выключает электроприводы исполнительного органа М1, маслостанции М2, ленточного перегружателя М3, скребкового конвейера М4, М5, насоса орошения М6 с помощью контакторов магнитный КМ1, КМ2, КМ3, КМ4, КМ5, КМ6 соответственно. Система управления управляет всеми гидроприводами комбайна с помощью подачи сигнала на электрогидрораспределитель ЭГР. Сигнал с датчика тока Д1, представляющий собой трансформатор тока, поступают в систему управления. Система

осуществляет стабилизацию нагрузки привода ИО путем регулирования подачи с помощью электрогидроросселя ДР. Информация о перемещении комбайна поступает с датчика Холла Д4, установленного на приводном колесе гусеничной тележки.

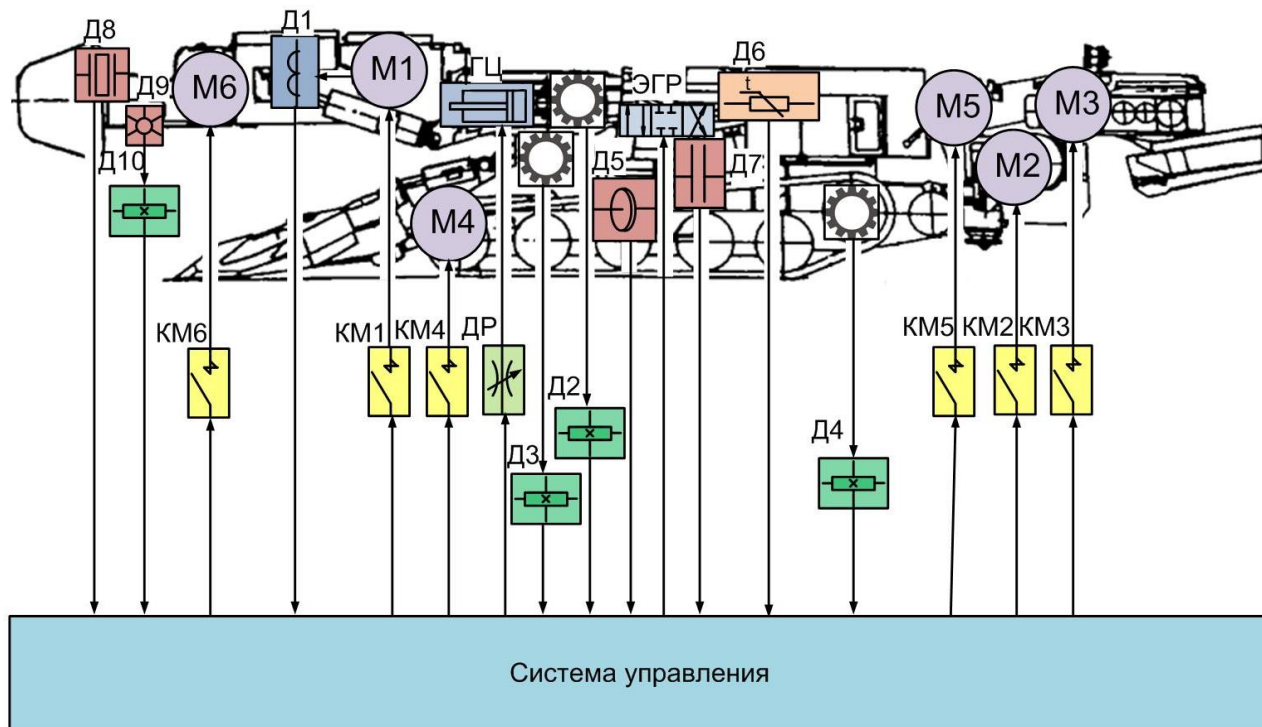


Рисунок 2 – Функциональная схема микропроцессорного устройства управления проходческим комбайном

Информация о горизонтальных и вертикальных перемещениях стрелы исполнительного органа поступает в систему с датчиков Холла Д2, Д3, установленных на зубчатых колесах, которые смонтированы соосно осям вращения стрелы. Информация о температуре и уровне масла в маслобаке гидросистемы поступает в систему управления с терморезисторного датчика температуры Д6 и емкостного датчика уровня Д7. Информация о расходе и давлении воды в системе орошения поступают с турбинного датчика расхода Д9 и пьезоэлектрического датчика давления Д8.

На основании функциональной схемы устройства автоматизации проходческого комбайна КСП-32, была разработана структурная схема устройства автоматизации проходческим комбайном КСП-32, которая приведена на рисунке 3. Микроконтроллер DD осуществляет обработку сигналов, поступающих с датчиков, и выдачу соответствующих команд на исполнительные устройства в соответствии с программой, которая построена на основании алгоритма работы системы управления проходческим комбайном.

Для гальванической развязки, согласования величины напряжений и характеристик сигнала датчиков, исполнительных органов к уровню напряжения микроконтроллера применены согласовательные блоки.

Опишем блоки, которые согласовывают сигнал, поступающий с датчиков и подают на микроконтроллер DD. Аналоговый сигнал с измерительного трансформатора тока Д1, понижается на делителе напряжения RP1. Аналоговый сигнал с терморезисторного датчика температуры Д6 преобразуется измерительным мостом RZ и усиливается усилителем А1. Аналоговый сигнал с емкостного датчика уровня Д7 преобразуется реактивным мостом CZ и выпрямляется выпрямителем UZ. Аналоговый сигнал с пьезоэлектрического датчика давления Д7 гальванически развязывается и усиливается оптроном VU3. Дискретный сигнал с датчика ориентации на основе гироскопа Д5 гальванически развязывается через оптопару

VU4. Сигналы с датчика перемещения комбайна Д4, горизонтального и свертикального положения ИО Д2, Д3, расхода орошения Д10 усиливаются усилителями А2-А5.

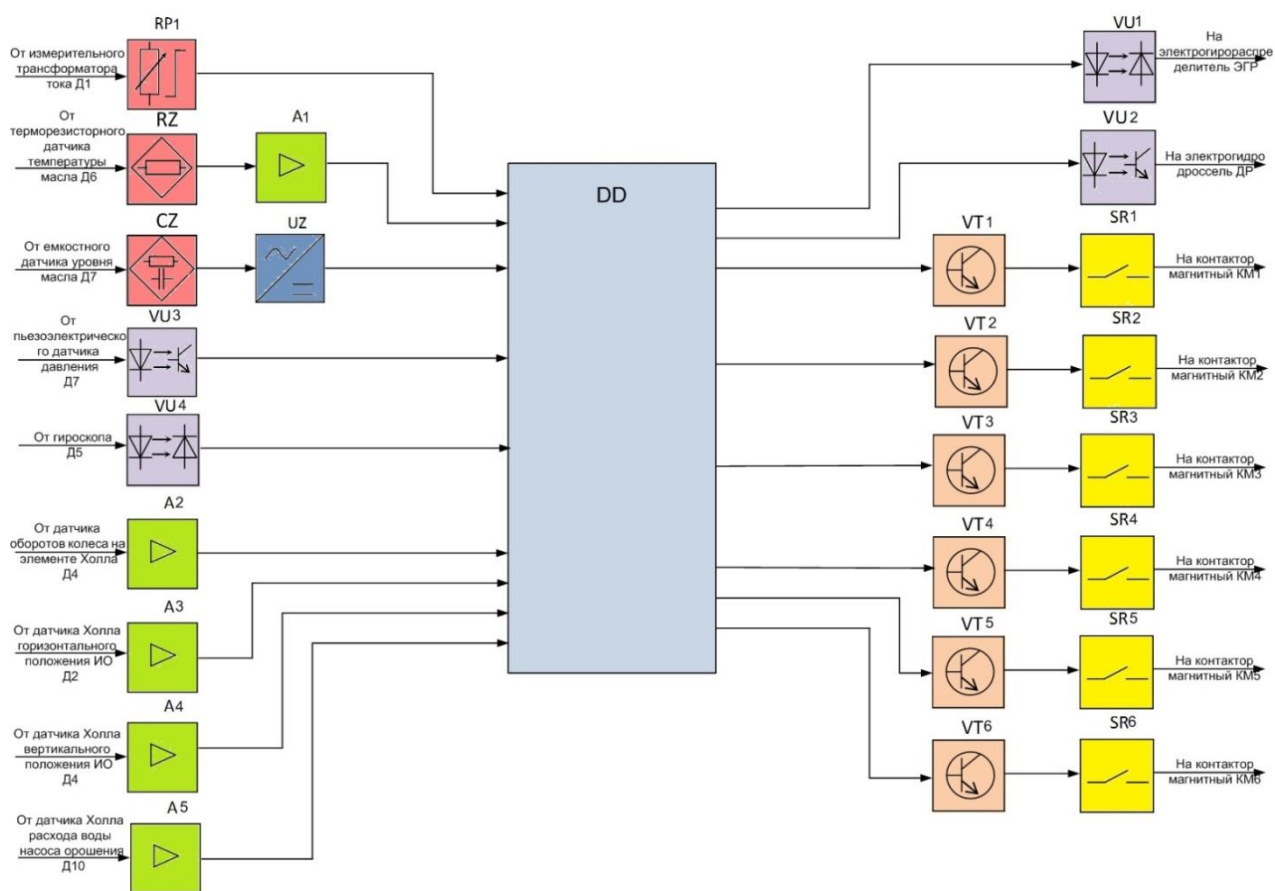


Рисунок 3 – Структурная схема микропроцессорного устройства управления проходческим комбайном

Оптопара VU1 осуществляет гальваническую развязку между микропроцессорным устройством и электрогидрораспределителем ЭГР. Оptron VU2 гальванически развязывает и усиливает сигнал, поступающий на электрогидродроссель ДР. Сигналы на магнитные контакторы всех приводов комбайна усиливаются транзисторами VT1-VT6 и гальванически развязываются реле SR1-SR6.

Применение предлагаемой системы автоматизации проходческих комбайнов позволяет повысить эффективность проходческих работ минимизировав простои на выполнение вспомогательных технологических операций.

Перечень ссылок

1. Горные машины для подземной добычи угля: учеб. пособ. для вузов / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, М.М. Лысенко, С.В. Павленко, В.В. Косарев; Под общ. ред. П.А. Горбатова. 2-е изд. перед. и доп. – Донецк: Норд Компьютер, 2006. 669 с.:ил.
2. Основы автоматизации производства: учеб.для техникумов/ Л.П. Поспелов – М.:Недра, 1988. 232 с. ил.
3. Научные основы автоматизации в угольной промышленности: опыт и перспективы развития: монография / В.Г. Курносков, В.И. Силаев; Междунар. институт независимых педагогических исследований МИНПИ – ЮНЕСКО, ОАО «Автоматгормаш им. В.А. Антипова». – Донецк: изд-во «Вебер» (Донецкое отделение), 2009. – 422 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВНОГО ПУСКА ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Степаненко П.Д., магистрант; Никулин И.О, магистрант; Лавшонок А.В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Ленточные конвейеры широко применяются для механизации доставки угля в подземных выработках угольных шахт. Эффективность и надежность обеспечения процесса транспортирования добытого полезного ископаемого, в том числе зависит и от осуществления оптимальных режимов запуска. Теоретические исследования и опыт эксплуатации показал, что наиболее рациональным является применение систем плавного пуска на базе тиристорных регуляторов напряжения. Причем чем более мощный и протяженный конвейер, тем актуальнее является требование применения систем плавного пуска. Это связано как с необходимостью снижения пусковых токов при пуске мощных приводов, так и с необходимостью снижения пусковых моментов и ускорений для обеспечения пуска конвейера без пробуксовки. В настоящее время широко применяются устройства плавного пуска многих производителей, в частности аппараты КУВПП, АПМ, УКТВ, и др. на различные номинальные токи [1]. Ленточные конвейеры повышенной мощности, как правило, оснащаются более чем одним электродвигателем, причем мощность их постоянно возрастает. При умеренных мощностях электродвигателей ленточных конвейеров, размещенных в пределах компактной приводной станции, они включаются параллельно, и их пуск осуществляется при помощи одного аппарата плавного пуска. При повышении мощности пуск от одного аппарата бывает затруднителен, в связи с ограничениями пусковых свойств тиристорных коммутаторов, поэтому возможен запуск двигателей конвейера от отдельных аппаратов плавного пуска, которые включаются одновременно [2].

Исследовать процессы при плавном пуске двухдвигательного ленточного конвейера удобно при помощи приложения Simulink пакета MatLab [3]. Модель для исследований приведена на рисунке 1.

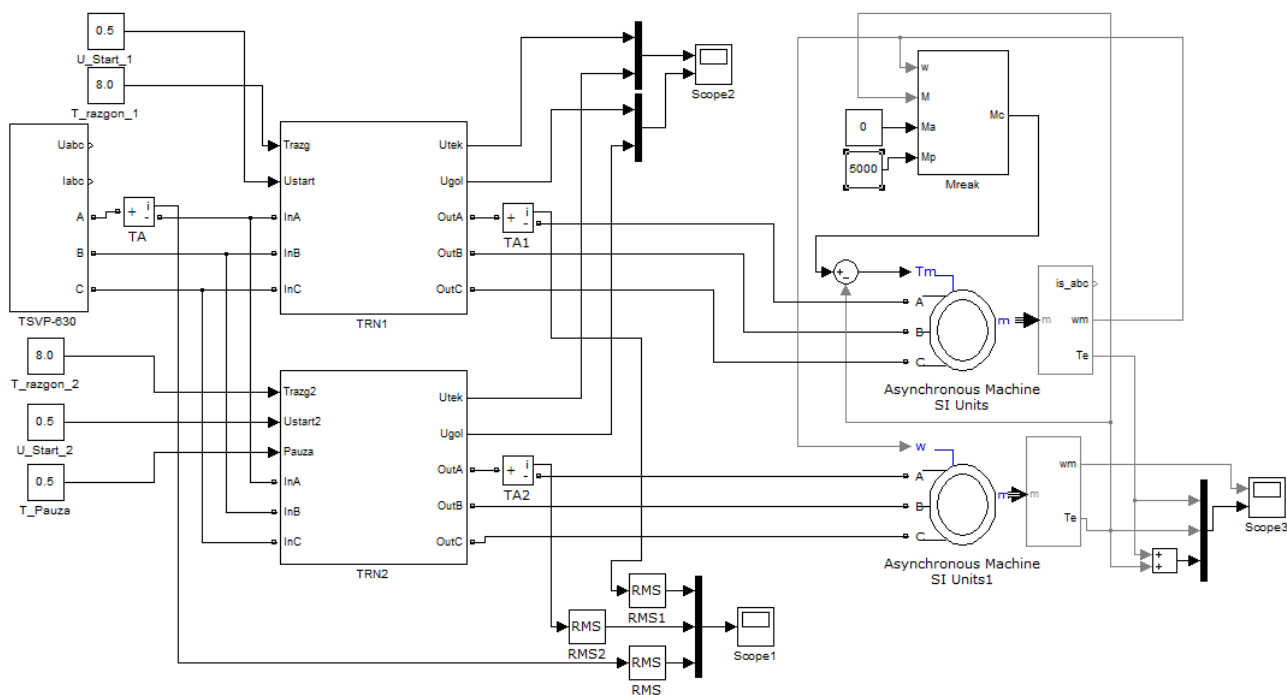


Рисунок 1 – Модель привода ленточного конвейера с системой плавного пуска

Приведенная модель учитывает трансформаторную подстанцию ТСВП-630, два тяговых электроподстанции ВДКВ315ЛВ4, номинальной мощностью 250кВт. Двигатели считаются абсолютно идентичными, а переходными процессами в ленточном конвейере пренебрегалось. Для управления двигателями модель содержит два независимых регулятора напряжения TRN1 и TRN2, модель которых приведена на рисунке 2.

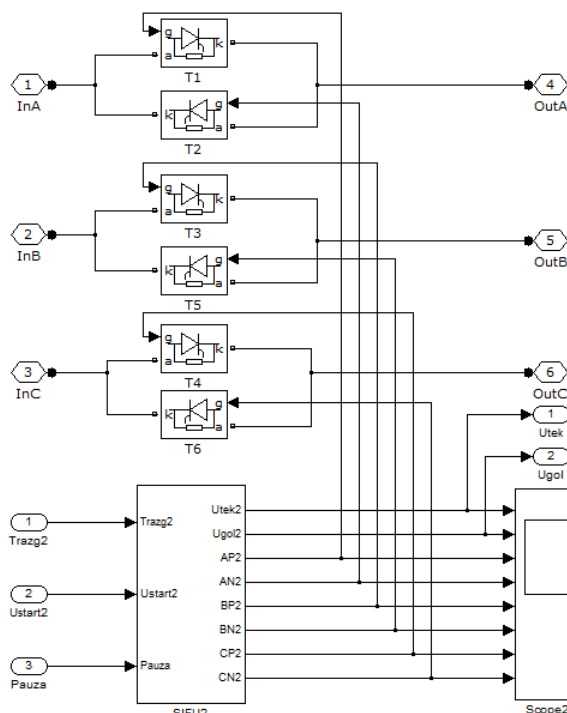


Рисунок 2 – Модель тиристорного регулятора напряжения

Для управления силовыми тиристорами модель предусматривает систему импульсно фазового управления SIFU, модель которой приведена на рисунке 3.

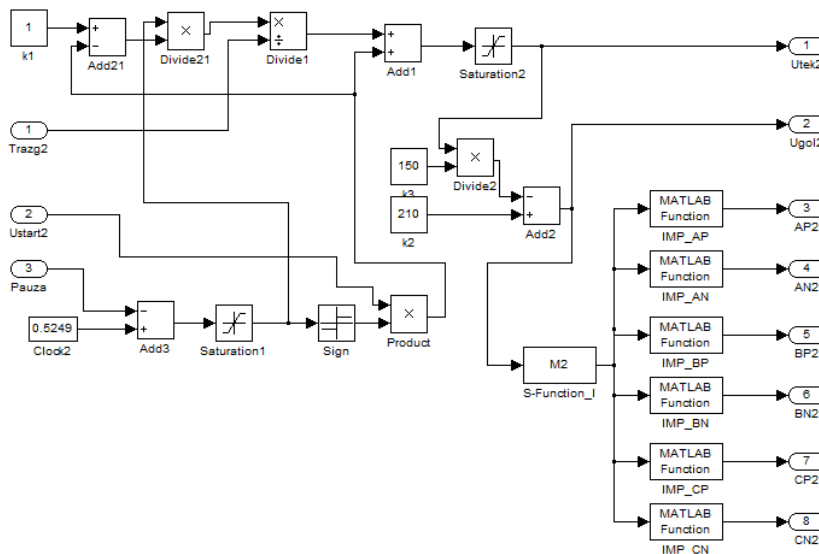


Рисунок 3 – Модель системы импульсно-фазового управления

Аппараты плавного пуска рудничных ленточных конвейеров содержат не только тиристорный регулятор напряжения, но и один или несколько силовых контакторов, а также систему управления, аналогичную взрывозащищенным пускателям. Указанное обстоятельство приводит к несинхронному включению аппаратов и неадекватный режим работы регуляторов напряжения, влияние чего на процесс пуска будет исследовано ниже. Для учета неодновременности пуска двигателей предусмотрен вход Pauza. Для имитации

неодновременности запуска приводов, включение второго аппарата осуществляется с задержкой 200мс. Пуск осуществляется при стартовом напряжении 50% от номинального, а время разгона принято 8с, что соответствует параметрам пуска аппаратов типа УКТВ. На рисунке 4 показаны графики зависимостей изменения пускового напряжения и углов отпирания тиристоров во время разгона.

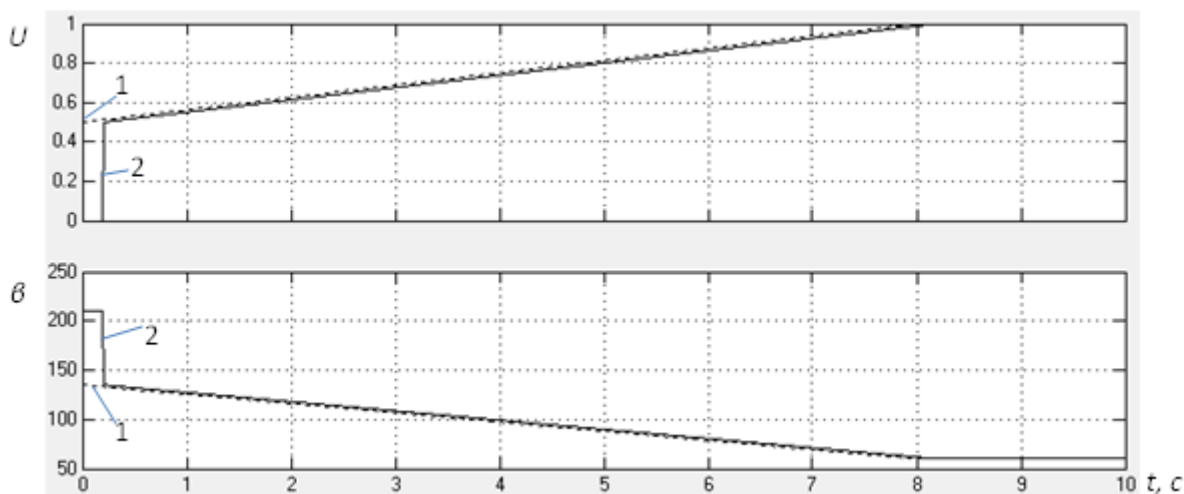


Рисунок 4 – Задатчик напряжения и угла отпирания тиристоров

На рисунке 4 напряжения задатчика U приведено в относительных единицах, а угол отпирания β в электрических градусах, при этом пунктирные линии 1 – соответствуют TRN1, а сплошная линия 2 – аппарату TRN2.

Алгоритм функционирования системы импульсно фазового управления имитирует действие микропроцессорного устройства управления аппарата УКТВ-2-250, и реализовано при помощи S-функции M2, которая описана в отдельном файле.

На рисунке 5 приведены результаты моделирования пуска ленточного конвейера, в частности приведенная скорость на валу двигателей и электромагнитные моменты развиваемые двигателями (1 и 2), а также суммарный момент.

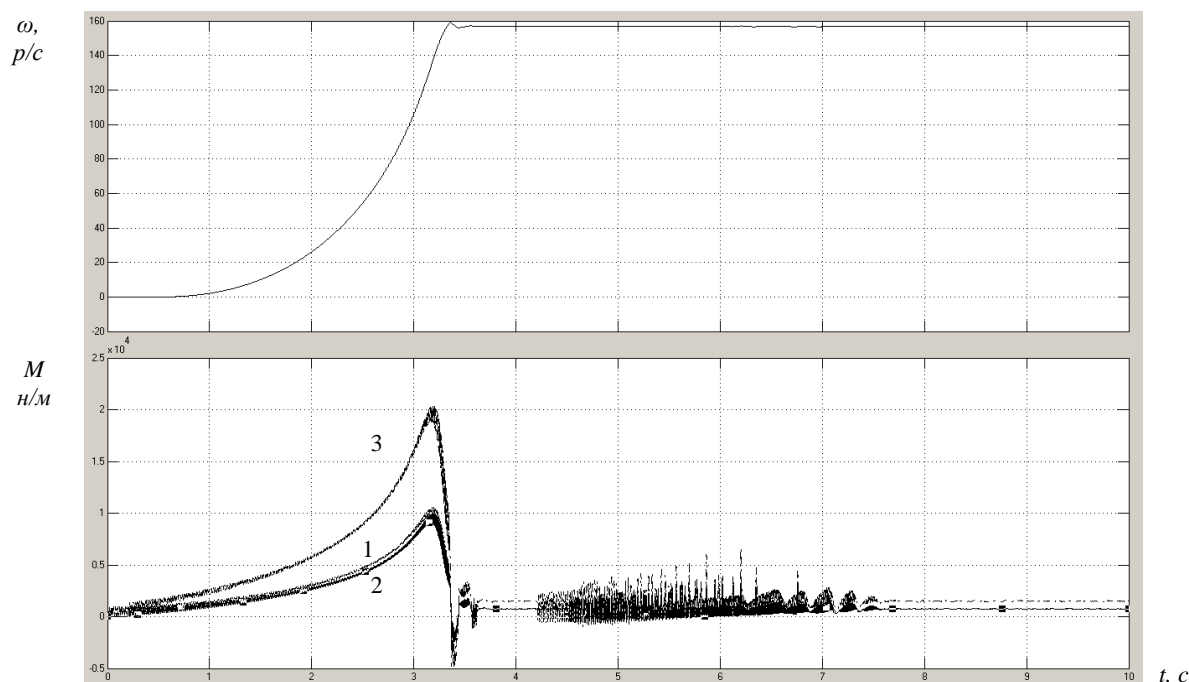


Рисунок 5 – Изменение скорости и моментов при пуске конвейера

При анализе работы системы управления приводом также представляет интерес характер изменения токов при пуске, как отдельного привода, так и системы в целом. На рисунке 6 приведены результаты моделирования тока (рассмотрено среднее значение одной фазы) каждого из двигателей (линии 1 и 2), и суммарного тока (3) двухдвигательного привода.

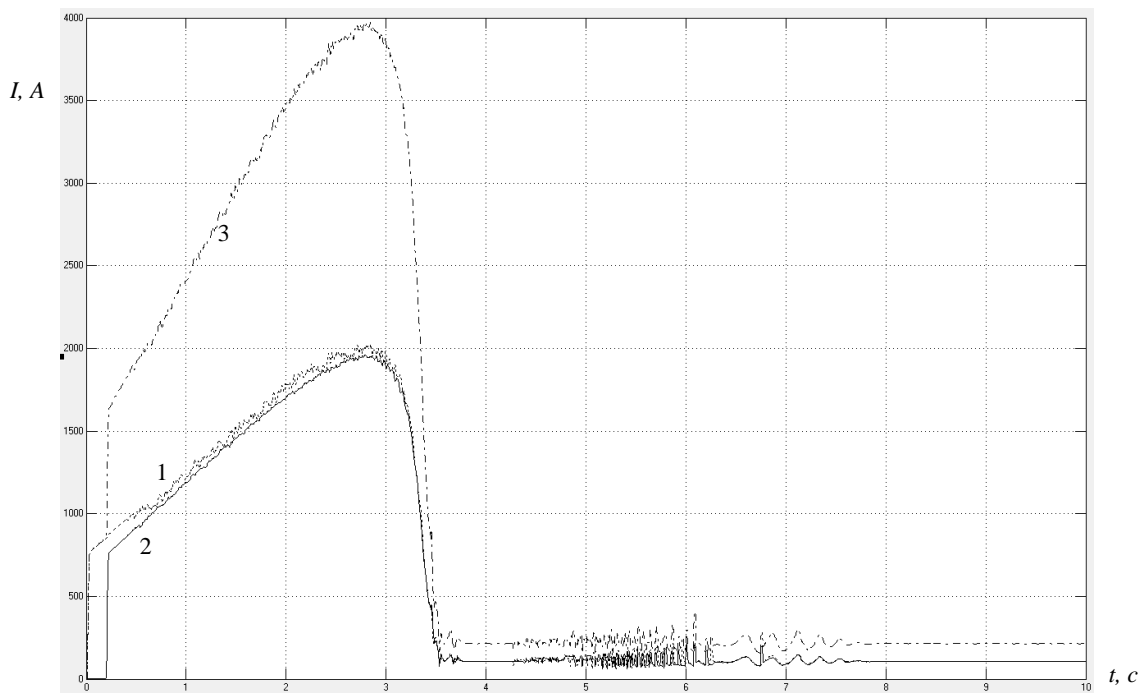


Рисунок 6 – Изменение тока двигателей при пуске конвейера

Таким образом, анализ модели процесса пуска двухдвигательного привода ленточного конвейера отдельными аппаратами плавного пуска показал возможность такого технического решения и может быть рекомендован в случае пусков двигателей с большими пусковыми и номинальными токами, сумма которых превышает возможности отдельного пускового аппарата.

При пуске двухдвигательных конвейеров отдельными аппаратами плавного пуска следует минимизировать время задержки между их включениями, а при возможности следует осуществить синхронизацию задатчиков интенсивности аппаратов между собой, для чего при разработке новых и модернизации выпускающихся аппаратов плавного пуска ленточных конвейеров следует предусмотреть соответствующий канал связи.

Перечень ссылок

1. Обоснование параметров систем дистанционного управления шахтных низковольтных коммутационных аппаратов / А.В. Лавшонок, Е.А. Манакин, О.Г. Шило / Наукові праці Донецького національного технічного університету.- Донецьк: ДВНЗ "ДОННТУ", 2011.- С.105-112.- (Сер. Гірничо-електромеханічна; Вип.21(189))

2. Оптимизация систем управления плавного пуска ленточными конвейерами / А. И. Полунин, А. В. Лавшонок // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых [Электронный ресурс] : сборник научных трудов XVI Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов, 25-26 мая 2016 г., г. Донецк : в рамках 2-го Международного научного форума "Инновационные перспективы Донбасса" / ГОУ ВПО "ДОННТУ" ; оргком.: И.Н. Яремко (пред.) и др. - Донецк : ДОННТУ, 2016. - С. 190–193

3. Черных И.В. «Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink.» 1-е издание, 2007. -288 стр.

БЛОК АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ШАХТЫ

Стрюк Г.А., студ.; Цыганков М.Г., студ.; Неежмаков С.В., доц., к.т.н., доц.
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Для предотвращения обмерзания ствола, подъемных сосудов и канатов, а также создания нормальных климатических условий для работающих людей, воздух, подаваемый в шахту в холодное время года, подогревается в калориферных установках. В настоящее время на шахтах в основном используется безвентиляторные калориферные установки, в которых воздух через секции проходит под воздействием общешахтной депрессии. Регулирование температуры отработанного теплоносителя на выходе из калорифера осуществляется путем изменения расхода первичного теплоносителя, проходящего через калорифер.

В соответствии с [1] калориферная установка должна быть снабжена аппаратурой автоматического управления, обеспечивающей:

- автоматическую стабилизацию температуры воздуха в стволе в пределах от +2 до +5 °С или от -7 до -4 °С (для условий многолетней мерзлоты) во всем возможном диапазоне значений температуры атмосферного воздуха;

- защиту калориферов от замерзания в них воды в аварийных ситуациях;

- блокировку технологического оборудования от непредусмотренного способа использования;

- регистрацию температуры воздуха в стволе и атмосферного воздуха, температуры воды на входе и выходе из калориферной установки, температуры воды на входе в калориферы, расхода воды через калориферную установку;

- сигнализацию о снижении температуры воздуха в стволе ниже +2 °С или ниже -7 °С и повышении ее выше +5 °С или -4 °С, снижении температуры воды на выходе из калориферной установки ниже +20 °С и повышении выше +70 °С, повышении давления воды на входе в калориферную установку более 1,2 МПа и снижении менее 0,5 или 0,3 МПа, снижении расхода воды через калориферы ниже расчетного значения, реверсе вентилятора главного проветривания, состоянии исполнительных механизмов и смесительных насосов.

- защиты и блокировки для контроля исправностей отдельных элементов оборудования;

- защиту калориферов от замерзания в них воды в аварийных ситуациях;

- наличие связи с оператором и возможность задания уставок и осуществления визуального контроля за работой;

- световую и звуковую сигнализацию у диспетчера, в помещении котельной и в помещении калориферной.

В настоящее время для автоматизации калориферных установок на большинстве действующих шахт используется комплектная аппаратура АКУ-63, но все строящиеся и реконструируемые шахты оснащаются более совершенной аппаратурой типа АКУ-3.1М, построенной в отличие от АКУ-63, на элементах бесконтактной логики.

Недостатками данной аппаратуры являются:

- отсутствие возможности изменять программное обеспечение устройства, что особенно актуально для наладки регуляторов по контурам;

- отсутствие возможности применить ПИД алгоритм для регуляторов;

- отсутствие унифицированного интерфейса связи для ввода аппаратуры в систему автоматизации верхнего уровня;

- не выполняется архивация значений технологических параметров калориферной установки;

- не рассчитывается отданная теплоносителем тепловая энергия для разогрева воздуха.

Перечисленные недостатки не представляется возможным устранить, используя существующую аппаратуру автоматизации, поэтому для блока автоматического управления тепловой производительностью калориферной установки принято решение задействовать современное оборудование в области АСУТП – программируемый логический контроллер.

Согласно [1] помимо основного параметра – температуры окружающего воздуха и возмущающего воздействия – скорости воздушного потока, на установку так же действует температура и расход теплоносителя через калориферную установку. Для поддержания минимального воздействия этого влияния на процесс регулирования в существующей аппаратуре предусмотрена функция поддержания температуры отходящего теплоносителя из калориферов. Однако реализация данной функции выполнена по самому простому закону регулирования – по отклонению, что не позволяет точно выполнять манипуляции регулирующим органом. Помимо описанного недостатка, точному изменению расхода воды через подводящий трубопровод препятствует крутая характеристика регулирующего органа – задвижки. Для устранения этого недостатка, помимо установки нового оборудования автоматизации, предлагается вварить параллельно основного трубопровода – малый трубопровод, на котором установить еще одну задвижку для точного регулирования расхода воды через калориферы (рисунок 1).

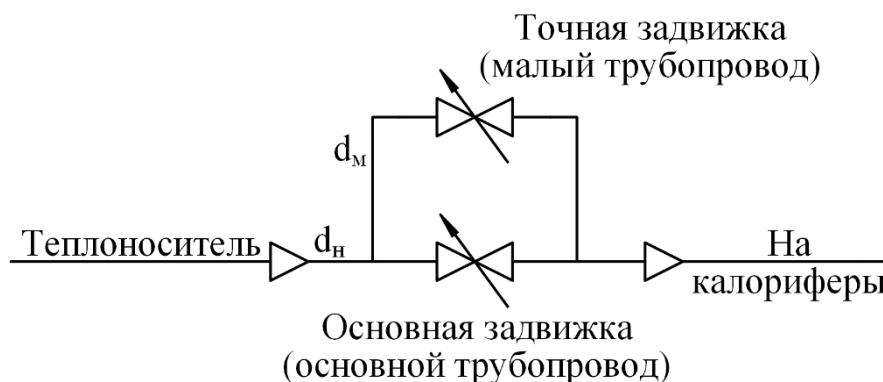


Рисунок 1 – Рекомендуемая схема трубопровода и расположения регулирующих задвижек, подающих теплоноситель на калориферы (d_n – номинальный диаметр трубопровода, d_m – малый диаметр трубопровода)

Таким образом, контроль показаний расхода и температуры теплоносителя на входе и выходе из калориферов, и дополнительный регулирующий орган – точная задвижка, позволят уменьшить возмущающее воздействие от изменений температуры и/или расхода теплоносителя от его источника – котельного цеха.

Диаметр трубопровода рассчитывается таким образом, чтобы через малый трубопровод могло пройти не менее 5% и не более 10% от номинального расхода воды через установку, для достижения необходимой точности регулирования. Для этого, согласно [2], необходимо использовать диаметр сечения трубы в 3,65 меньший от основного трубопровода.

Выполнив данные условия, аппаратура автоматизации получает возможность регулировать расход воды через калориферы более плавно, таким образом выполняя более точную и качественную регулировку температуры воздуха, выполняя при этом все эксплуатационные требования калориферной установки. На рисунке 2 приведен алгоритм работы блока автоматического управления тепловой производительностью калориферной установки (БПКУ).

Процесс запускается с момента ввода блока в автоматический режим. При его включении блок запрашивает уставки температуры воздуха в стволе $T^v_е$ и температуры отработанного теплоносителя $T^v_{ом}$. После ввода уставок, БПКУ входит в основной цикл своей работы. Считываются показания датчиков, установленных на объекте. Далее, согласно полученных данных с измерительных приборов, запускается подпрограмма ПИД

регуляторов. Данная подпрограмма содержит два самостоятельных контура регулирования: по воздуху и по теплоносителю. Первый регулятор (по воздуху), если есть рассогласование текущей температуры воздуха с температурой уставки, дает команду на увеличение или уменьшение производительности калориферной установки.

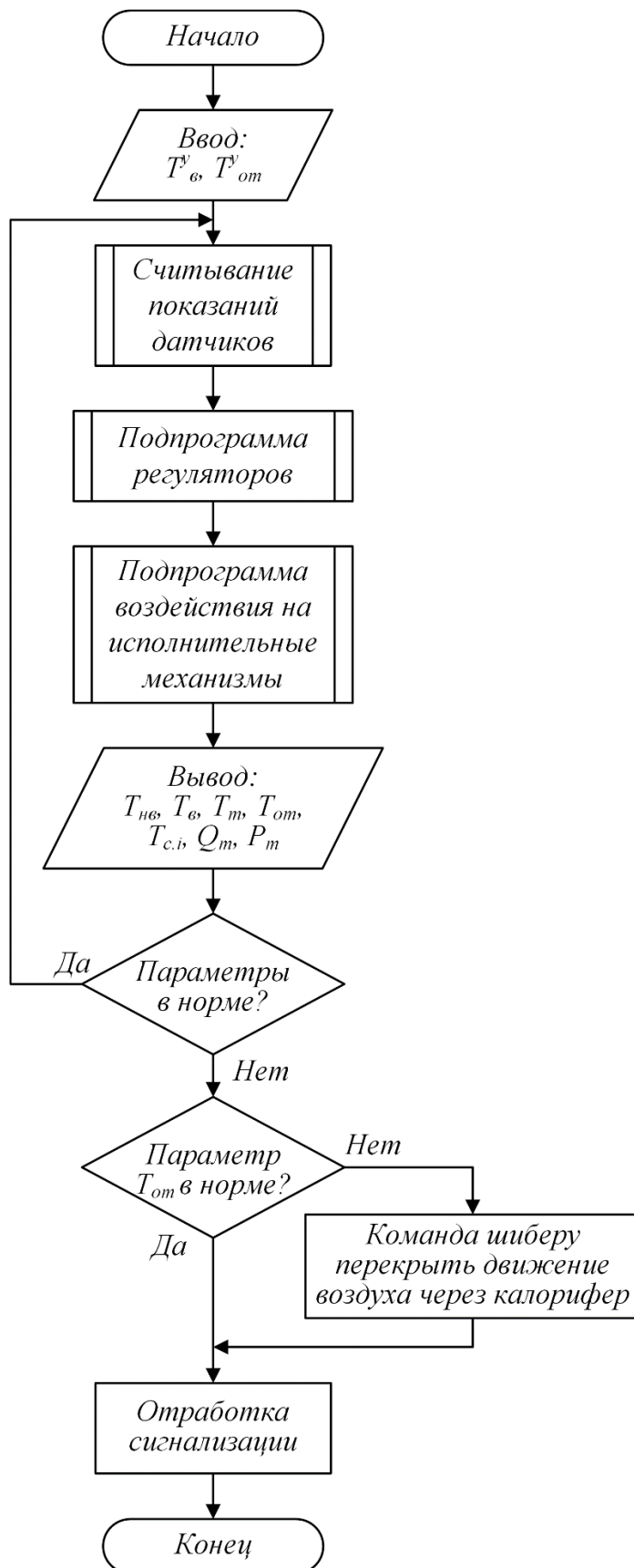


Рисунок 2 – Алгоритм работы БПКУ

Второй регулятор (по теплоносителю), если есть рассогласование текущей температуры отработанного теплоносителя с температурой уставки, дает команду на увеличение или уменьшение расхода теплоносителя через calorifiers. Далее подпрограмма воздействия на исполнительные механизмы, на основании команд ПИД регуляторов, рассчитывает и, при необходимости, дает импульсы на три регулирующих органа: шибер смешивания потоков воздуха, основную и точную задвижки подачи теплоносителя на calorifiers. Так как процесс нагрева воздуха напрямую влияет на процесс охлаждения calorиферных секций и наоборот, то подпрограмма учитывает это влияние, в чем и заключается расчет длительности импульсов. Помимо этого, данная подпрограмма корректирует положения точной и основной задвижки так, чтобы точная находилась всегда в пределах 20-80% степени своего открытия.

После выполнения всех подпрограмм, связанных с регулированием, БПКУ выводит текущие показания датчиков: температуры наружного воздуха $T_{нв}$, температуры воздуха в стволе T_v , температуры теплоносителя на входе в установку T_t , температуры отработанного теплоносителя $T_{от}$, температуры i -й секции $T_{с.i}$, расхода теплоносителя Q_t и давления теплоносителя P_t . Все полученные показания сравниваются с предварительно запрограммированными уставками сигнализации. Если показания в норме, то основной цикл повторяется. В случае выхода параметров за пределы установленных уставок, если это не параметр температуры отработанного теплоносителя, отработывает сигнализация и аппаратура переходит в ручной режим работы. Если же параметр температуры отработанного теплоносителя ниже установленного критического значения, во избежание замораживания секций calorифера, с помощью шибера полностью перекрывается доступ нагретого воздуха в ствол шахты (прекращается движение воздуха через calorифер) независимо от температуры воздуха в стволе, отработывает сигнализация и БПКУ переходит в ручной режим работы. На рисунке 3 приведена структурная схема БПКУ.

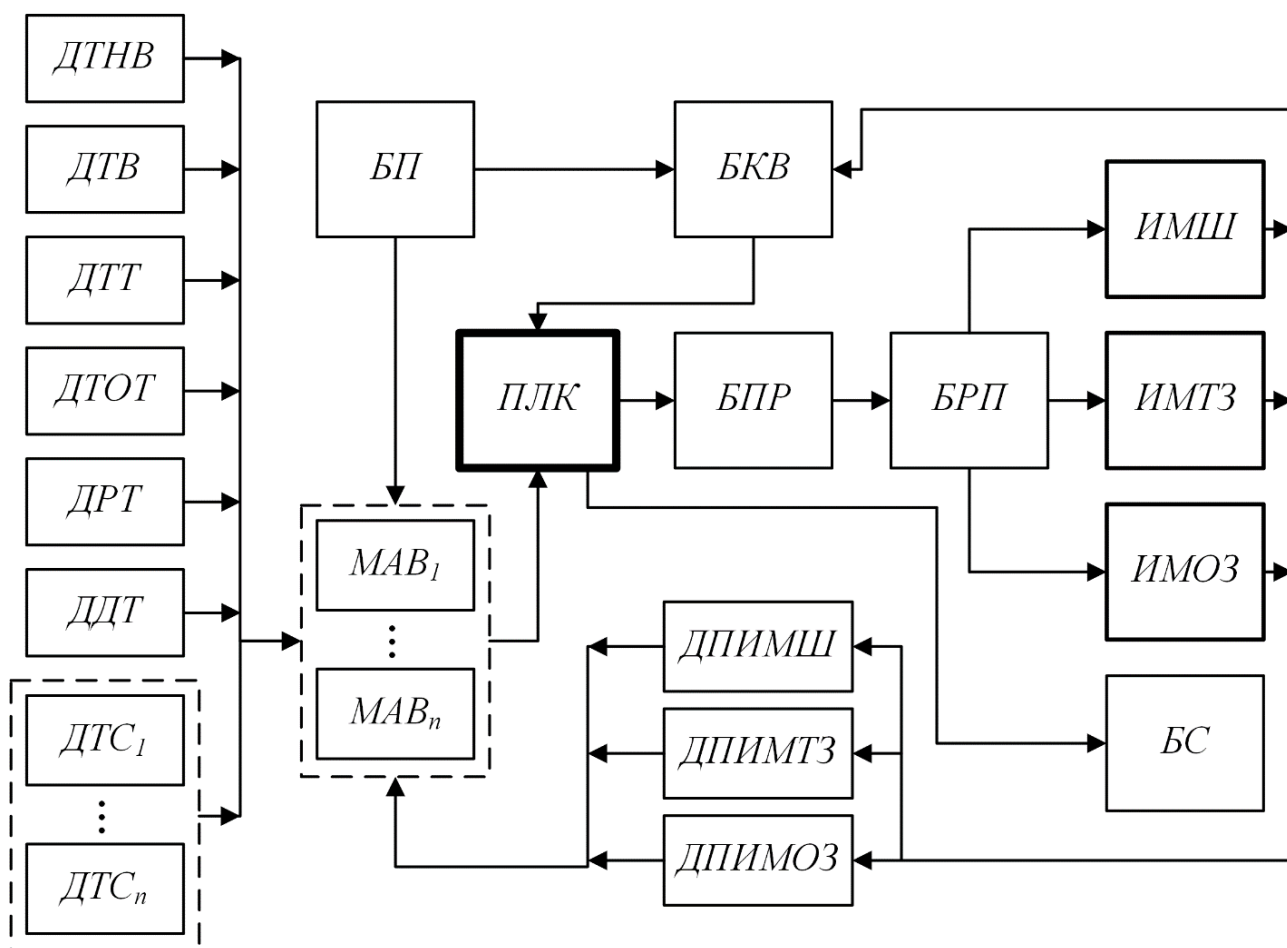


Рисунок 3 - Структурная схема БПКУ

Обозначения на структурной схеме:

ДТНВ – датчик температуры наружного воздуха;

ДТВ – датчик температуры воздуха в стволе;

ДТТ – датчик температуры теплоносителя;

ДТОТ – датчик температуры отработанного теплоносителя;

ДРТ – датчик расхода теплоносителя;

ДДТ – датчик давления теплоносителя;

ДТС_{1..n} – датчики температур секций калориферной установки;

БП – блок питания;

МАВ_{1..n} – модули аналогового ввода;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

БКВ – блок конечных выключателей;

БПР – блок промежуточных реле;

БРП – блок реверсивных пускателей;

ИМШ – исполнительный механизм шибера;

ИМТЗ – исполнительный механизм точной задвижки;

ИМОЗ – исполнительный механизм основной задвижки;

ДПИМШ – датчик положения исполнительного механизма шибера;

ДПИМТЗ – датчик положения исполнительного механизма точной задвижки;

ДПИМОЗ – датчик положения исполнительного механизма основной задвижки;

БС – блок сигнализации.

Основным элементом структурной схемы является программируемый логический контроллер – ПЛК, принцип работы которого заключается в программируемом управлении исполнительными механизмами объекта (шибером и задвижками) на основании показания контрольно-измерительных приборов (датчиков). Сигналы с датчиков поступают на МАВ, которых может быть один и более, в зависимости от количества контролируемых секций калориферной установки. Устройства МАВ соединены с ПЛК по промышленному интерфейсу связи RS-485 и запитываются от внешнего низковольтного блока питания БП постоянного тока. Так же БП используется для обнаружения в ПЛК дискретных сигналов типа «сухой контакт» от БКВ, который является простой коммутационной схемой выходов конечных выключателей исполнительных механизмов. ПЛК управляет регулирующими механизмами через БПР, который дополнительно развязывает логическую, низковольтную часть схемы с высоковольтной схемой пускателей. Пускатели управляют исполнительными механизмами МЭО, положение которых с помощью соответствующих датчиков передается назад в ПЛК через МАВ. Таким образом выполняется полный контроль и слежение за всеми процессами в калориферной установке, а также имеется возможность гибко управлять объектом и использовать СКАДА-систему контроля и архивирования параметров, совместимую с выбранным ПЛК.

Перечень ссылок

1. Батицкий В.А., Куроедов В.И., Рыжков А.А.. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в горной промышленности: Учеб. Для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991.

2. Бухгольц В.П. Датчики и реле автоматического контроля в горной промышленности. - М.: Недра, 1971. - 224 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА В КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТЫ

Христенко С.В., студ.; Неежмаков С.В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Современное горное предприятие немислимо без принудительной вентиляции. Прекращение проветривания влечет за собой остановку всего технологического комплекса шахты или рудника, к выводу людей на поверхность, прекращению работы всех машин и механизмов. От надежной, безотказной работы системы проветривания полностью зависит безопасность, а зачастую и жизнь людей, работающих в шахте. В связи с необходимостью наличия в шахтных условиях надежного, необходимой мощности и управляемого источника сил движения воздуха, в качестве основного источника этих сил используется вентилятор [1].

Вентиляторы широко применяются во всех отраслях промышленности. На их привод расходуется огромное количество электроэнергии, вырабатываемой в стране. В частности, в горной отрасли на привод вентиляторов, обслуживающих шахту, уходит до 8–10 % электроэнергии расходуемой всей шахтой. Вентиляционные сети шахт представляют собой совокупность большого количества подземных выработок, отличающихся разнообразием параметров, влияющих на сопротивление этих сетей. Эти параметры постоянно меняются, следовательно, меняется и аэродинамика сетей, что делает актуальным разработку системы автоматизации управления процессом распределения воздуха в капитальных выработках шахты.

Структурная схема системы управления процессом распределения воздуха в капитальных выработках шахтной вентиляционной сети приведена на рис.1.

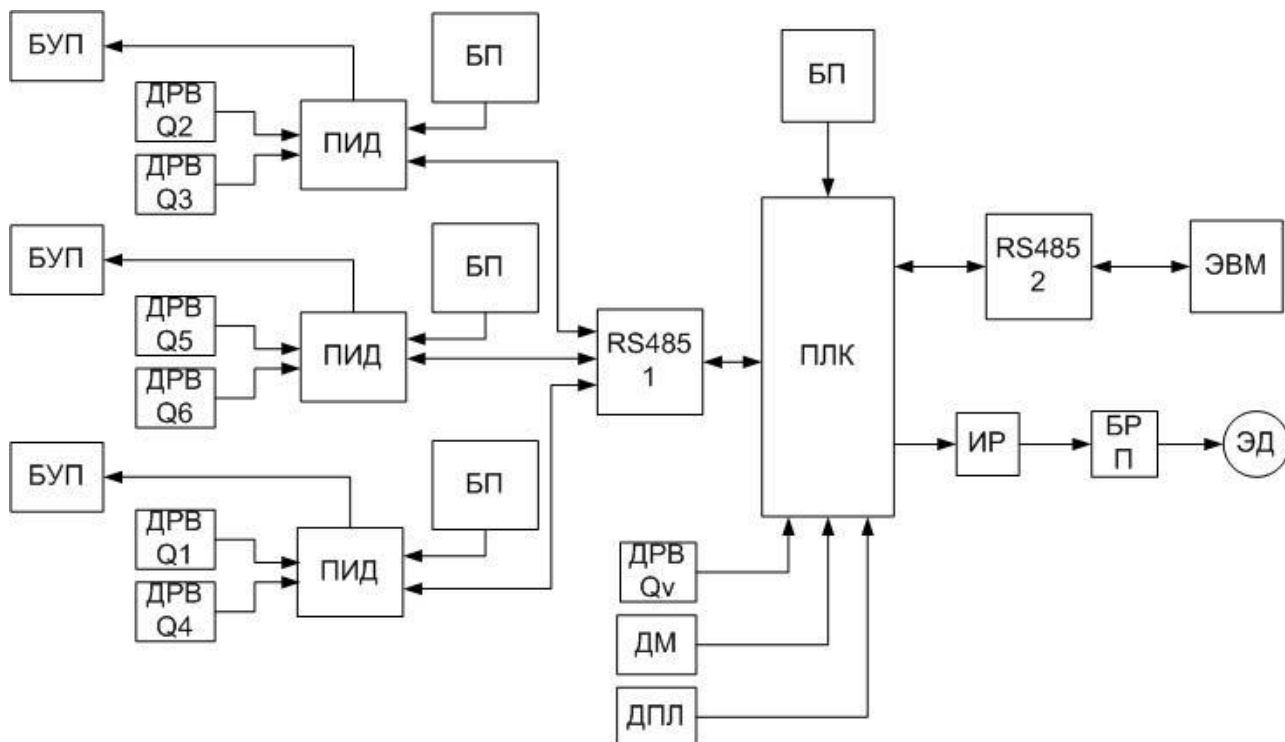


Рисунок 1 – Структурная схема системы автоматизации управления процессом распределения воздуха в капитальных выработках шахты

На рисунке 1 обозначено: ДРВ Q_n – датчик расхода воздуха выработки; ДМ – датчик депрессии вентилятора; ДПЛ – датчик положение лопаток; ПИД – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор; БУП – блок управления приводом заслонки; ПЛК

– программируемый логический контроллер; БП – блок питания; ИР – исполнительное реле; БРП – блок реверсивных пускателей; ЭД – приводной электродвигатель направляющего аппарата; ЭВМ - промышленный компьютер подсистемы мониторинга и диспетчерского управления главного проветривания; RS485 - интерфейс передачи данных.

Входные сигналы от датчиков на участках Q1-Q6 поступают на ПИД-регулятор типа Овен ТРМ 212-П.РР, в виде пропорционального электрического сигнала. Для осуществления защиты сигналы от датчиков проходят через барьер искрозащиты, установленный в электрической цепи, связывающей датчик, находящийся во взрывоопасной зоне, и ПИД-регулятор, расположенный во взрывобезопасной зоне. ПИД-регулятор измеряет и автоматически регулирует физические и технологические параметры, отображает их и выдает соответствующие сигналы на однотипные дискретные выходные устройства ключевого типа, используемые для управления трехпозиционным исполнительным механизмом – заслонкой, имеющим электрический привод, две пары контактов для управления направлением его вращения. Когда управляющие импульсы подаются на первую пару контактов, заслонка перемещается в одну сторону - открывается, а при подаче импульсов на вторую – закрывается.

Блок ПЛК обеспечивает обработку информации и выработку команд управления. Для двусторонней передачи информации между ПИД-регулятором и программируемым логическим контроллером используется интерфейс связи RS-485. На входные устройства ПЛК поступает информация о подаче воздуха и депрессии вентилятора. Выходные устройства ПЛК подают сигнал на исполнительное реле, управляющее приводным электродвигателем направляющего аппарата. Для управления приводным электродвигателем НА предназначено исполнительное реле. Предлагается использоваться программируемый логический контроллер типа Овен ПЛК110-24.30К имеющий два интерфейса передачи данных RS485. Первый интерфейс RS485, используется для двусторонней передачи информации между ПИД-регулятором и программируемым логическим контроллером, а второй для сообщения с промышленным компьютером подсистемы мониторинга и диспетчерского управления главного проветривания. Программирование осуществляется с помощью программного обеспечения CODESYS 2.3.

Для двусторонней передачи информации между программируемым логическим контроллером и ЭВМ используется интерфейс связи RS-485. Для измерения расхода воздуха на участках Q1-Q6 в данной предлагаются измерители скорости воздушного потока СДСВ 01. Датчики расхода воздуха СДСВ 01 предназначены для непосредственного измерения расхода воздуха, с последующим преобразованием их значений в пропорциональный электрический сигнал и передачи его на ПИД-регулятор. Для осуществления защиты сигналы от датчиков проходят через барьер искрозащиты типа Овен ИСКРА, установленный в электрической цепи, связывающей датчик, находящийся во взрывоопасной зоне, и ПИД-регулятор, расположенный во взрывобезопасной зоне.

На вентиляторе главного проветривания подача воздуха измеряется датчиком расхода воздуха СДСВ 01, а депрессия – дифманометром ДМ-3583М. Выходные устройства ПЛК подают сигнал на исполнительное реле, управляющее приводным электродвигателем направляющего аппарата. Для управления приводным электродвигателем НА предназначено исполнительное реле ИР типа РЭС43.

Для питания ПИД-регулятора типа Овен ТРМ 212-Н.РР и программируемого логического контроллера типа Овен ПЛК110-24.30К применен блок питания типа БПУ.1М, который серийно выпускается ОАО «Макеевский завод шахтной автоматики».

Предложенная структурная схема системы автоматизации управления процессом распределения воздуха в капитальных выработках шахты позволяет перейти к практической реализации аппаратуры и разработке программного обеспечения.

Перечень ссылок

1. Ивановский И. Г. Шахтные вентиляторы — Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ТОКООГРАНИЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОТКЛЮЧЕНИЯ ЦЕПИ КРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ – ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Маренич О.К., аспирант; Ковалёва И.В., к.т.н.

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР)

Учитывая крайне высокие мощностные показатели междуфазных коротких замыканий в шахтных участковых электрических сетях и опасность возникновения воспламенений, а также взрывов метано-воздушной смеси, максимальная токовая защита таких электротехнических комплексов многократно дублируется. При этом, в качестве основного исполнительного устройства защитного отключения выступает автоматический выключатель. Групповой коммутационный аппарат серии АВ (на вводе участкового распределителя) и автоматический выключатель распределительного устройства низкого напряжения участковой трансформаторной подстанции представлены идентичными аппаратами серии АЗ7ХХ. При этом автоматический выключатель типа АЗ792У адаптирован к применению в сетях линейного номинального напряжения 1140 В [1].

Однако практика его эксплуатации в сетях указанного напряжения выявила недостатки такой адаптации электрического аппарата, изначально рассчитанного на эксплуатацию в сетях линейного напряжения 660 В. Это нашло своё выражение в повторяющихся случаях междуфазного пробоя в местах расположения силовых контактов аппарата при повторном его включении после защитного отключения тока трёхфазного короткого замыкания в отходящем присоединении.

Анализ конструкции аппарата (АЗ792У) показал наличие следов плавления (закипания) металла поверхностей силовых контактов, отдельных фрагментов дугогасительной решётки и медного налёта на прилегающих диэлектрических поверхностях корпуса (рис.1 – рис.3) [2].

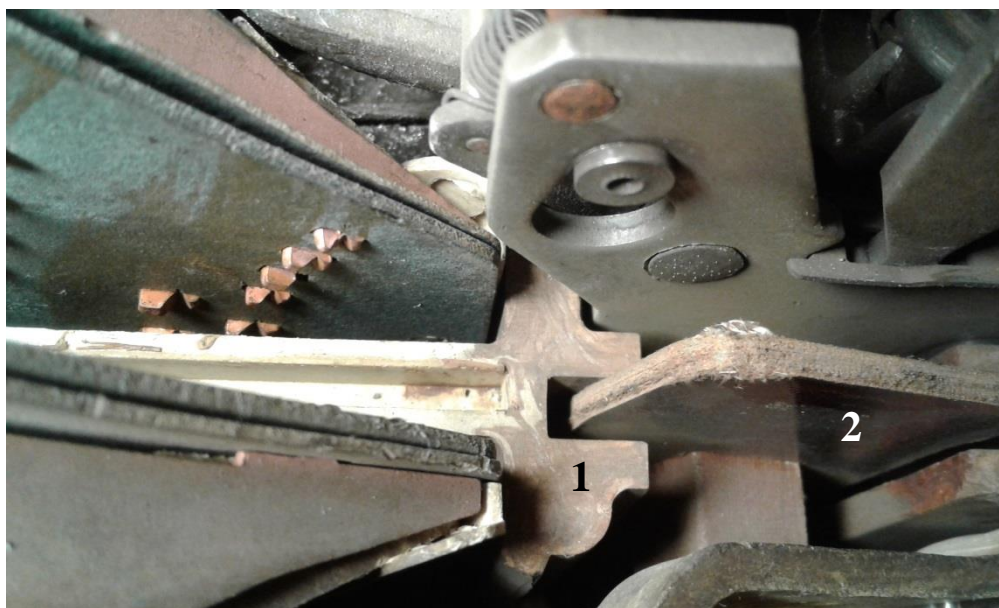


Рисунок 1 – Фрагмент основания корпуса автоматического выключателя АЗ792 – электроизоляционное ребро 1, отделяющее силовые контактные группы полюсов разных фаз и их дугогасительные камеры



а



б

Рисунок 2 – Дугогасительная камера автоматического выключателя А3792 со следами электродугового воздействия при коммутации высоких токов: а - керамическая накладка в нижней части камеры со следами теплового воздействия электрической дуги; б - медные наплавления на дугогасительной



а



б

Рисунок 3 – Состояния поверхности силовых контактов автоматического выключателя А3792: а – подвергшихся электродуговому воздействию в процессе отключения высоких токов; б – нормальное состояние контактов

Методика исследования процессов, обусловленных появлением коммутационной электрической дуги подтверждает предположение о насыщении тела дуги парами металла, образуемыми вследствие закипания поверхностей контактов. При этом дуга в преддиафрагменном пространстве имеет тенденцию к расширению, а степень расширения определяется величиной коммутируемого тока (рис.4) [3].

Концептуальные положения данной теории в сочетании с допущениями, основанными на анализе специфики функционирования автоматического выключателя А3792У в электросети переменного тока позволили выполнить компьютерное моделирование процесса и установить, что конфигурация фазных каналов перемещения контактов автоматического выключателя может быть приравнена к диафрагмированию тела коммутационной электрической дуги, при этом в зависимости от типа трансформатора подстанции (в типовом ряду мощностей от 630 кВА до 1250 кВА) расчётный диаметр тела плазмы в области, находящейся под диафрагмой, будет увеличен на размер, находящийся в диапазоне от 4,6 до 7,8 мм. Этого достаточно для реализации процесса омеднения прилегающих диэлектрических поверхностей автоматического выключателя.

Таким образом, представляется актуальной задача реализации автоматического токоограничения процесса отключения междуфазного короткого замыкания автоматическим выключателем А3792У, поскольку в противном случае будет необходимо разработать и применить специальный высоковольтный силовой коммутационный аппарат, что неизбежно

приведёт к существенному усложнению конструкции применяемой аппаратуры, её габаритов, а также приведёт к существенному удорожанию применяемой аппаратуры.

Устранение выявленного негативного эффекта возможно на основе снижения величины либо продолжительности тока в цепи коммутационного дугообразования. Эффективным техническим решением в этом случае может служить использование плавкого предохранителя в качестве нагрузки выпрямительного моста, объединяющего вторичные обмотки трансформаторной подстанции в трёхфазную схему. В случае короткого замыкания предохранитель разрывает схему соединения обмоток и обесточивает цепь коммутации автоматического выключателя (А3792У) подстанции за время, меньшее продолжительности защитного отключения (0,1 с). Допустимость такого решения основывается на положительных результатах исследований [4].

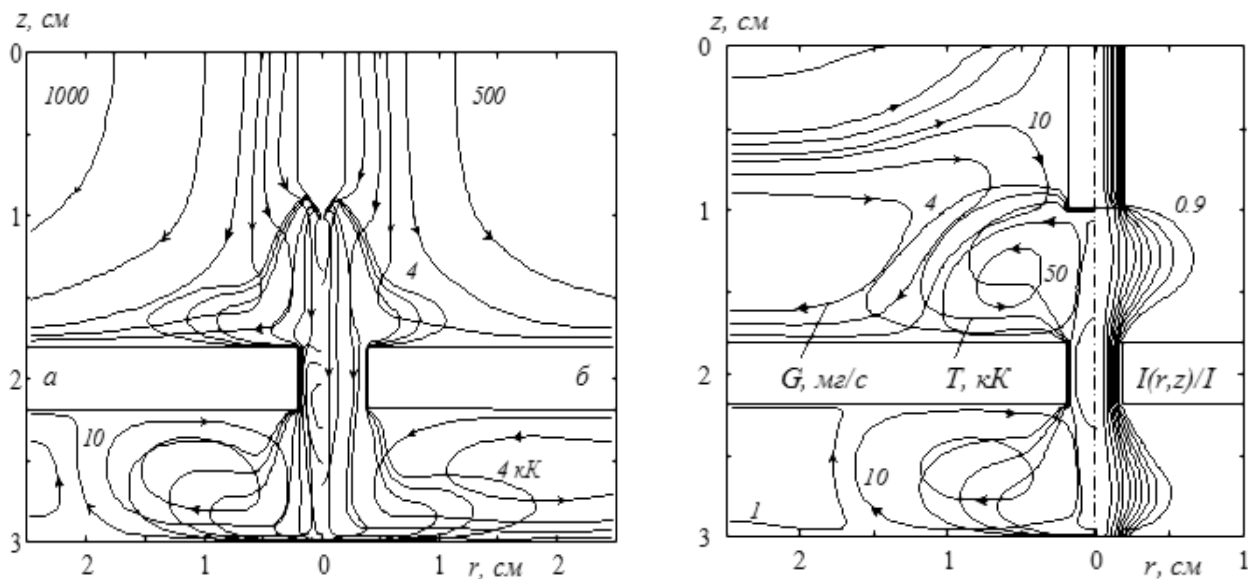


Диаграмма 1

Диаграмма 2

Рисунок 4 - Распределение линий тока газа ($G = 1, 10, 50, 100, 200, 500, 1000$ мг/с) и поля изотерм (жирные линии $T = 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35$ кК) в дуге $I = 200$ А в зависимости от диаметра диафрагмы $d = 4$ (а); $d = 8$ (б) (диаграмма 1) и распределение линий тока газа ($G = 1, 10, 50, 100, 500$ мг/с), поля изотерм (жирные линии $T = 4, 7, 10, 15, 20$ кК) и линий электрического тока (с шагом 0,1) в дуге с плоским торцом катода; $I = 200$ А, $d = 4$ (диаграмма 2) [3]

Недостаток такого решения связан с необходимостью применения силового выпрямителя и обеспечения приемлемого теплового режима его диодов, а также в необходимости наличия достаточного количества плавких предохранителей для замены сгоревших. Кроме того, в установках, рассчитанных на высокие рабочие токи (более 1000 А) требуется установка параллельно нескольких предохранителей, что повышает габариты, снижает надёжность схемы.

Альтернативным решением может быть применение однополюсных вакуумных автоматических выключателей SPVC, снабжённых встроенными датчиками тока и имеющими приемлемые коммутационные параметры (до 30 кА) и скорость отключения (7 ± 2 мс). Указанные параметры согласуются с величинами аварийных токов шахтных участковых электросетей высокой мощности и сопоставимы с параметрами быстродействия современных микропроцессорных устройств максимальной токовой защиты [1]. Преимуществом, также, является то, что процесс разрыва аварийной силовой цепи происходит в вакуумной камере и не провоцирует взрыв метановоздушной смеси внутри рудничной оболочки КТП.

Схема управления автоматическим отключением такого выключателя в цепи коммутации схемы «звезда» вторичной обмотки трансформатора подстанции представлена на рис. 5, рис.6) [5].

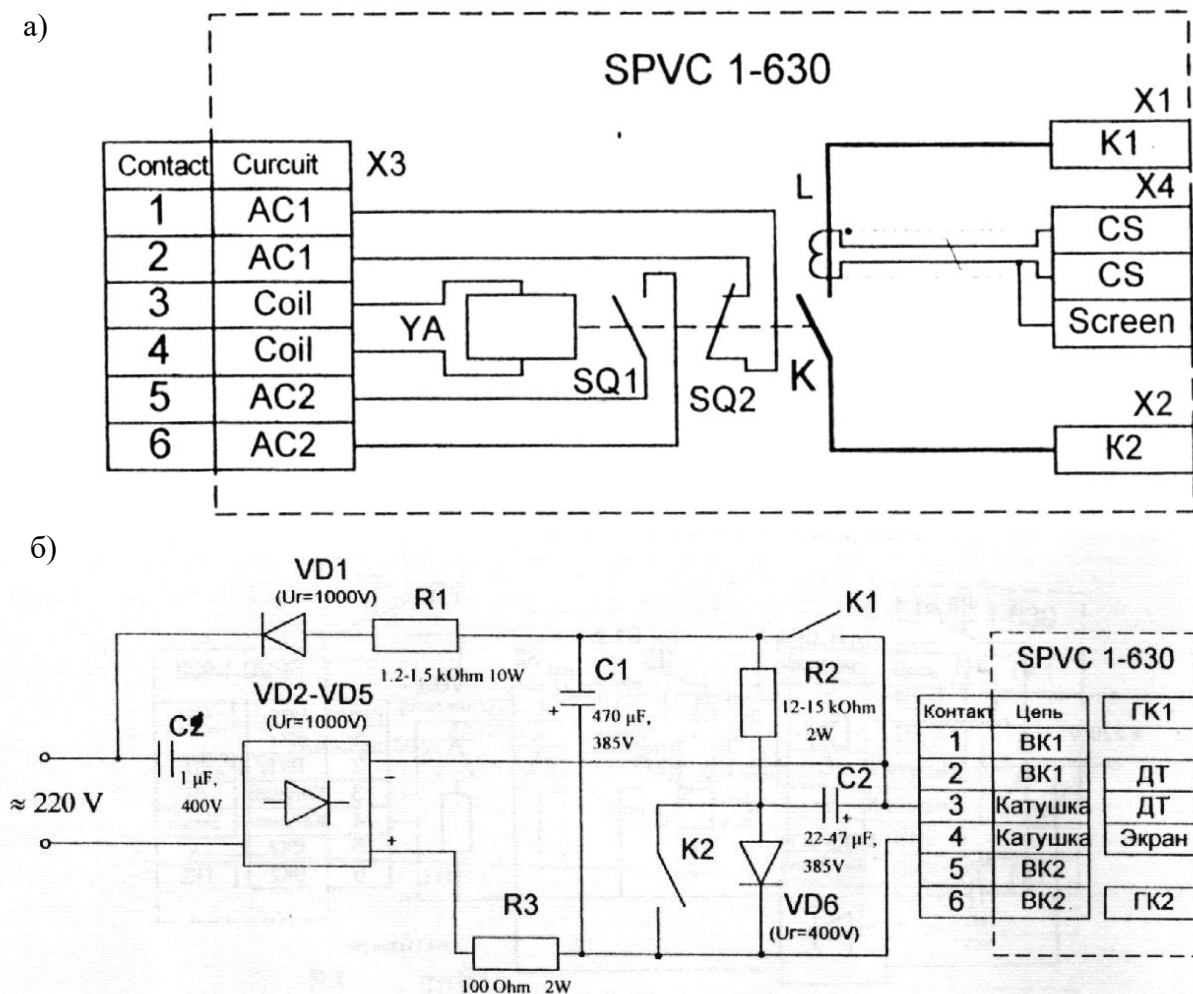


Рисунок 5 - Схема контактора SPVC 1-630 – а и вариант схемы управления данным контактором – б

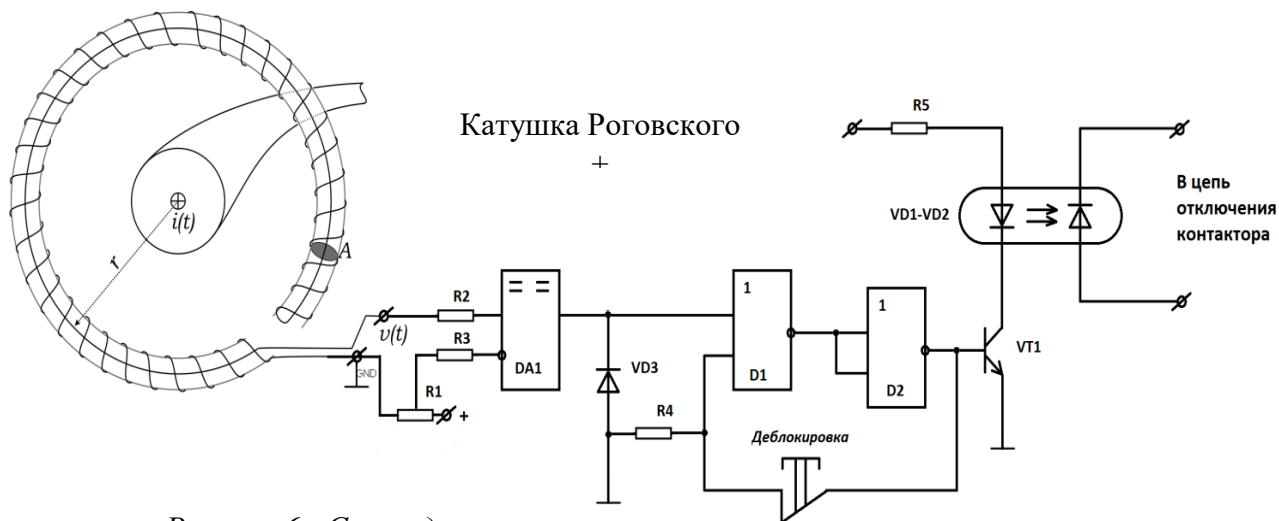


Рисунок 6 - Схема датчика к.з.

Заявленный параметр быстродействия схемы определяется тем, что отключение (обесточивание) катушки контактора происходит не вследствие её контактной коммутации, а в результате встречного разряда предварительно заряженного конденсатора С2 (рис. 5 б). Коммутация конденсатора может быть выполнена быстродействующей полупроводниковой схемой устройства максимальной токовой защиты, связанного непосредственно с датчиком тока L (рис. 5 а), встроенного непосредственно в корпус контактора. Это тем более уместно, поскольку конструкция самого контактора SPVC-1-630 позволяет реализовать функцию ускоренного выявления процесса короткого замыкания в защищаемой сети. Данный эффект достигается за счёт применения катушки Роговского в качестве датчика тока, поскольку она, будучи надетой на шину токопровода, формирует на выходе напряжение, пропорциональное по величине скорости нарастания тока в указанной шине:

$$u(t) = \left(\frac{L}{N}\right) \frac{di(t)}{dt}, \quad (4.1)$$

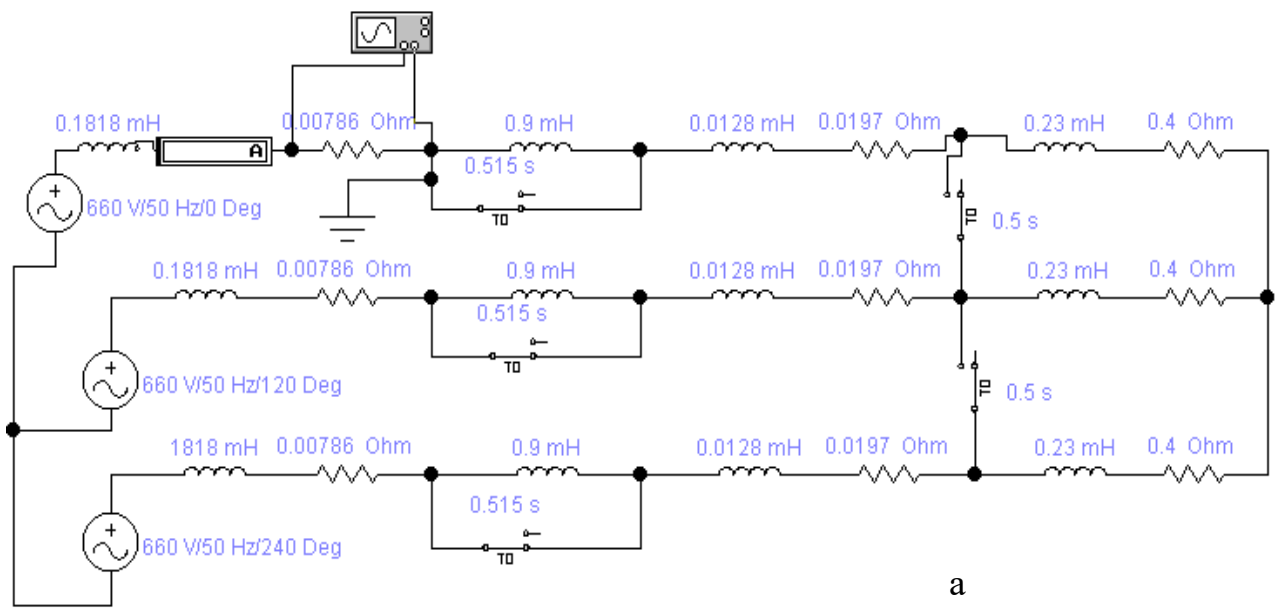
где L – индуктивность катушки; N – количество витков катушки.

Это позволяет построить схему устройства выявления короткого замыкания на базе компаратора DA1 (рис. 6), сопоставляющего величину импульса напряжения на выходе катушки Роговского с уставкой, формируемой потенциометром R1 [5]. Кратковременный импульс, снимаемый с выхода компаратора DA1, запоминается как сигнал о коротком замыкании триггерной схемой на элементах «ИЛИ» D1 и D2, что в дальнейшем обрабатывается отпиранием ключевого транзистора VT1 и срабатыванием оптрона VD1-VD2. Учитывая конфигурацию схемы управления контактором (рис. 5), фотодиод оптрона VD2 следует подключить параллельно кнопке «Стоп» K2 в цепь разряда коммутационного конденсатора. Таким образом, обеспечивается мгновенная реакция схемы на процесс короткого замыкания.

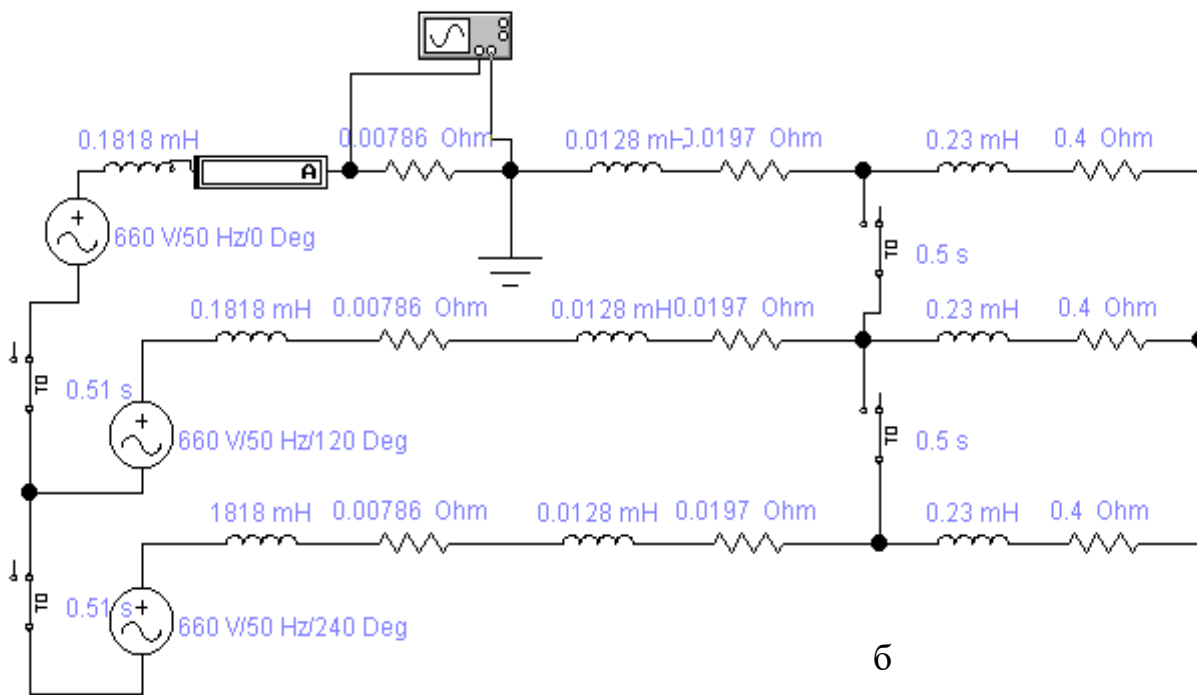
Представляется рациональным сопоставить технические возможности данной схемы токоограничения и схемы индуктивного ограничителя тока. Компьютерные модели данных схем представлены на рис. 7.

При моделировании введены допущения, что активное и индуктивное сопротивления источника питания соответствуют параметрам трансформатора подстанции ТСВП-1000-6/1.2; отходящий кабель марки ЭВБВ 3х95 длиной 200 м; точка короткого замыкания находится в 10 м от трансформаторной подстанции; сопротивление нагрузки соответствует активным и индуктивным параметрам двигателя мощностью 250 кВт. При этом учитывается время срабатывания защиты типа БКС-3МК – 5 мс, задержка на отключение встречной индуктивности в цепи токоограничения – 10 мс. Кроме этого, вводится допущение, что в течение 20 мс с момента возникновения короткого замыкания силовая цепь аварийного присоединения остается не разомкнутой силовыми контактами автоматического выключателя трансформаторной подстанции.

Сопоставление диаграмм фазных токов (рис. 8) подтверждает наличие инерционности схемы дроссельного токоограничения, наличие тока высокой величины в сети аварийного присоединения после его срабатывания. При этом выявленные недостатки отсутствуют в схеме токоограничения на основе контакторной коммутации звезды трехфазной обмотки трансформатора подстанции. Так, продолжительность существования аварийного режима будет сопоставима с соответствующим временным параметром при применении дроссельного токоограничителя. Однако после срабатывания контакторного узла разъединения трехфазной схемы вторичной обмотки трансформатора питания электрической сети в ней полностью прекращается электрический ток, что существенно снижает тепловую нагрузку в силовых контактных соединениях автоматического выключателя трансформаторной подстанции.



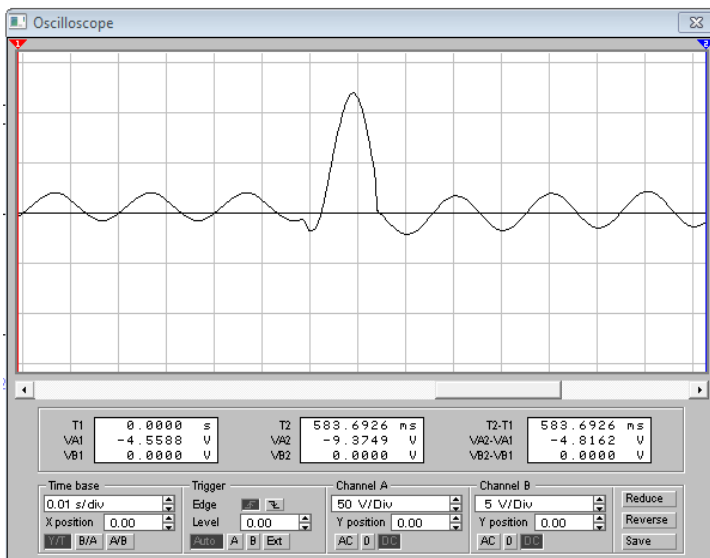
a



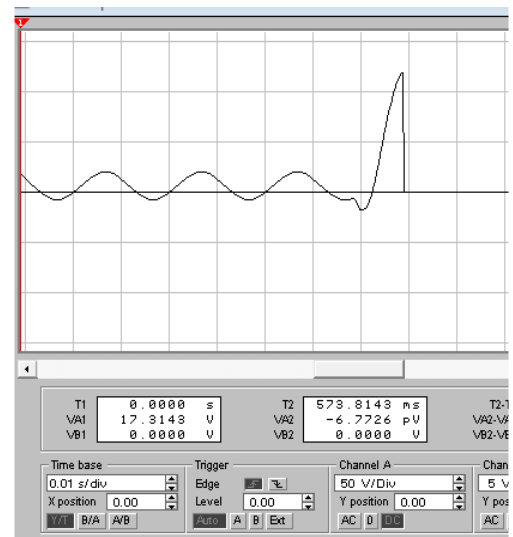
б

Рисунок 7 -. Компьютерные модели схем с токоограничителями по принципу разрыва «звезды» обмотки трансформатора питания сети (а) и ввода индуктивности последовательно в цепь токоограничения (б)

Таким образом, обоснованная концепция токоограничения цепи защитного отключения междуфазного короткого замыкания автоматическим выключателем типа А3792У трансформаторной подстанции может быть реализована устройствами в автоматическом режиме с достаточно высоким быстродействием как разового (плавкие предохранители), так и многократного (вакуумные контакторы) применения, что является инновационным техническим решением.



а



б

Рисунок 8 - Диаграммы моделирования формы токов вторичной фазной обмотки трансформатора подстанции ТСВП-1000-6/1,2, снятые с шунта фазной шины при дроссельном – а и контакторном – б способах токоограничения. Допущения – сечение жилы отходящего кабеля – 95 мм², точка КЗ в 10 м от выхода КТП

Перечень ссылок

1. Справочник энергетика угольной шахты: в 2 т. / [Дзюбан В.С., Ширнин И.Г., Ванев Б.Н., Гостищев В.М.]; под ред. Б.Н. Ванеева. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Донецк: ООО "Юго-Восток, Лтд", 2001. – Т.1.: (Гл.1-21). – 477 с.; Т.2.: (Гл.22-44). – 440 с.
2. Маренич О.К. Элементы конструкции автоматического выключателя А37ХХ как фактор возникновения его потенциально опасного состояния / О.К. Маренич, И.В. Ковалёва/ Вестник ДонНТУ, Донецк, №4, 2018.- С. 47-52.
3. Лелёвкин В.М. Численное моделирование характеристик открытой диафрагмированной электрической дуги / В.М. Лелёвкин, В.Ф. Семёнов / Вестник КРСУ, Бишкек, 2002.- №22 .- С.25-34. <https://www.krsu.edu.kg/vestnik/2002/v2/a10.html>
4. Намитоков К.К. и др. Плавкие предохранители / К.К. Намитоков, Р.С. Хмельницкий, К.Н. Аникеева.- М.: Энергия, 1979, 176 с.
5. Ковалёва И.В. Техническая реализация токоограничения цепи короткого замыкания в контексте применения вакуумных коммутаторов / И.В. Ковалёва, О.К. Маренич/ Вестник ДонНТУ, Донецк, №1 .- С. 34-40.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕГРЕВА ПОДШИПНИКОВ СКИПОВОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

Фесак А.Д., студ.; Неежмаков С.В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Из всего горно-шахтного оборудования подъемные установки занимают особое место, поскольку является основным видом транспорта, связывающим подземные выработки шахты с дневной поверхностью. Шахтные подъемные установки (ШПУ) предназначены для выдачи на поверхность угля, добываемого и получаемой при проходке горных выработок породы, быстрого и безопасного спуска и подъема людей, транспортирования крепежного леса, горно-шахтного оборудования и материалов. С помощью подъемной установки выполняется также и ремонт армировки и крепления ствола шахты.

В процессе работы ШПУ нагрев подшипникового узла (ПУ) происходит в процессе спуска-подъема скипа. Длительный нагрев может привести к разрушению ПУ и остановке объекта на неопределенное время. Контроль температуры осуществляется датчиками температуры, которые производят перекоммутацию в цепях управления приводного двигателя при достижении критического значения температуры ($t_n=70^\circ\text{C}$). Рабочая температура подшипника - $50-65^\circ\text{C}$. На предельные значения температурного диапазона влияет температура в здании подъема, то есть наблюдается смещение диапазона в летнее и зимнее время, что, в свою очередь, вносит неопределенность в принятии решения об отключении ШПУ в функции температуры подшипников.

Для решения таких неопределенностей воспользуемся методом нечетких моделей суть которого заключается в том, что любой технологический процесс, в котором необходимо принимать решение, можно эффективно описать математической моделью с помощью определенных преобразований. Так, все параметры, описывающие процесс, рассматриваются как нечеткие величины или лингвистические переменные, которые принадлежат нечетким множествам, в результате анализа которых формируются варианты условий и составляется алгоритм моделирования нечетких моделей. Это позволяет получить необходимую модель процесса принятия решения за счет адекватного учета всех неопределенностей исходной информации (рис. 1). Порядок построения математической модели принятия решения об отключении ШПУ следующий:

- 1) идентификация температур, определяющих режимы работы подшипников (определение вида их неопределенности) и формирование структурной схемы модели;
- 2) формирование функций принадлежности;
- 3) составление нечеткого алгоритма принятия решения;
- 4) реализация модели, моделирование и обработка результатов.

Для рассмотрения результатов разработки и функционирования математической модели принятия решения об отключении ШПУ будем использовать графические средства пакета Fuzzy Logic Toolbox (составная часть программного комплекса MatLab). Эти же средства используются и при разработке нечетких моделей, как графический объектно-ориентированный язык автоматического программирования. В состав этих средств входят:

- редактор систем нечеткого вывода FIS Editor (FIS)
- редактор функций принадлежности систем нечеткого вывода Membership Function Editor (MFE);

редактор функций принадлежности систем нечеткого вывода Membership Function Editor (MFE)

- программа просмотра правил системы нечеткого вывода Rule Viewer;
- программа просмотра поверхности нечеткого вывода Surface Viewer.

1. Структурная схема модели содержит блоки: входных параметров - температура (рис. 2,а), нечеткого алгоритма (рис. 2,б), выходного параметра - решение о режиме работы установки и об отключении (рис. 2,в).

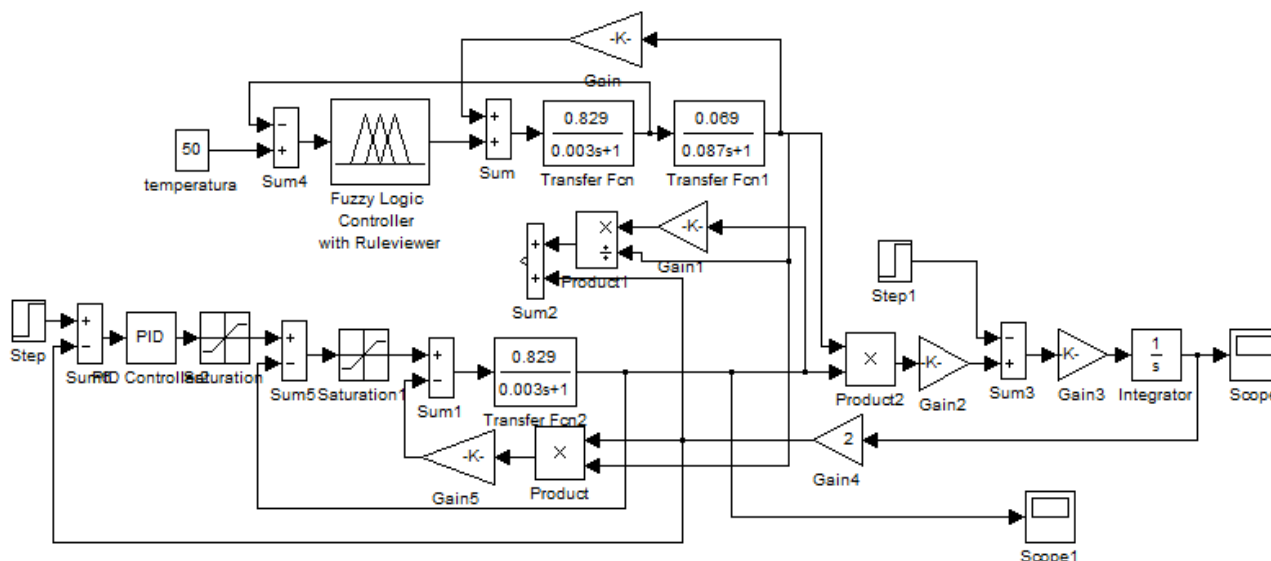


Рисунок 1 - Общий вид структурной схемы математической модели асинхронного двигателя с блоком нечеткого алгоритма принятия решения о выборе режима работы ШПУ при различной температуре ПУ

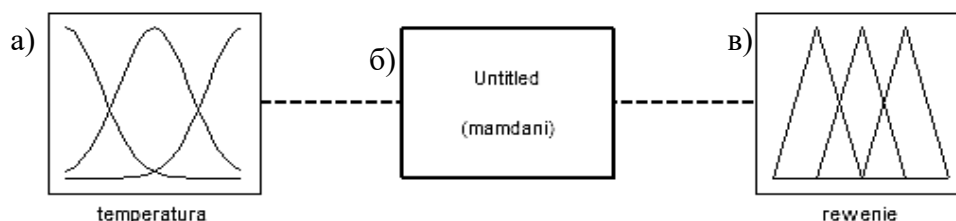


Рисунок 2 - Структурная схема модели

Параметры входного (рис. 2,а) и выходного (рис. 2,в) блоков представляют собой совокупность нечетких подмножеств некоторых свойств подшипника в множествах и R_o , т.е.

$$\left. \begin{aligned} T_n &= \{t_{bnag}, t_{nag}, t_{per}\}; \\ R_o &= \{r_{rab}, r_{sig1}, r_{nag}, r_{sig2}, r_{st}\}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2. Функции принадлежности $\mu_t(T_n), \mu_r(R_o)$, задают для всех параметров степень наличия в них некоторых свойств, по которым они относятся к подмножеству t, r : bnag, nag - работа ПУ без нагрузки и под нагрузкой при спуске-подъеме скипа, per - подход температуры к критическому значению; rab, nag - режим работы в номинальном диапазоне температуры и под нагрузкой, sig1, sig2 - режим сигнализации о переходе границ температурного диапазона (еще не нагрет, но уже не холодный; нагрет, но еще не вышел из строя), stop - режим отключения ШПУ.

Эти подмножества ограничены функциями $\sigma(t), \sigma(r)$ на интервалах L_t, L_r допустимых значений параметров технологического процесса (табл. 1) и могут быть представлены в виде систем (2, 3). Например, для любого множества T_n , существует такое

подмножество t , функция принадлежности μ_t которой всегда положительная и ограничена функцией $\sigma(t)$ на интервале L_t в диапазоне $[e, f]$.

$$\left. \begin{aligned} \forall T_n, \mu_t(T_n) = \mu_{t_{bnag} \cup t_{nag} \cup t_{per}}(T_n) = \max(\mu_{t_{bnag}}(T_n), \mu_{t_{nag}}(T_n), \mu_{t_{per}}(T_n)) > 0; \\ \sigma(t) = \{w | \mu_t(T_n) > 0\}; \\ L_t = [e, f] = \{t | t \in T_n, e \leq t \leq f\} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \forall R_o, \mu_r(R_o) = \mu_{r_{rab} \cup r_{sig1} \cup r_{nag} \cup r_{sig2} \cup r_{st}}(R_o) = \max(\mu_{r_{rab}}(R_o), \mu_{r_{sig1}}(R_o), \mu_{r_{nag}}(R_o), \\ \mu_{r_{sig2}}(R_o), \mu_{r_{st}}(R_o)) > 0; \\ \sigma(r) = \{r | \mu_r(R_o) > 0\}; L_r = [g, h] = \{r | r \in R_o, g \leq r \leq h\} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В результате анализа работы ШПУ можно сделать вывод, что нечеткие множества значений рассматриваемых параметров представляют собой совокупность лингвистических переменных, имеющих интервальную неопределенность вида $t = [1, \sigma(t)]$, $r = [1, \sigma(r)]$.

Вид функций принадлежности входного и выходного параметров имеют как треугольную *trimf* (4), так и трапециидальную *trapmf* (5) формы, определяются возможным распределением объективных решений в диапазоне допустимых значений параметров (рис. 3). Значение границ интервальных неопределенностей параметров и приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Интервальная неопределенность параметров t, r

Параметр	Лингвистическая переменная	Функция принадлежности	Вид функции принадлежности	Ограничения интервальной неопределенности (a, b, c, d)
Температура, °С	bez_nagruzki nagruzka peregrev	$\mu_{t_{bnag}}(T_n)$	трапеция	40 40 46 52
		$\mu_{t_{nag}}(T_n)$	трапеция	48 50 68 70
		$\mu_{t_{per}}(T_n)$	треугольни	68 70 70
Решение	rabota signal1 nagreto signal2 stop	$\mu_{r_{rab}}(R_o)$	трапеция	40 40 48 52
		$\mu_{r_{sig1}}(R_o)$	треугольник	48 50 52
		$\mu_{r_{nag}}(R_o)$	трапеция	48 52 68 70
		$\mu_{r_{sig2}}(R_o)$	треугольник	68 69 70
		$\mu_{r_{st}}(R_o)$	треугольник	69 70 70

$$\left. \begin{aligned} \sigma(t) = \sigma(r) = y = \text{trimf}(x, [a, b, c]); \\ y = 0, \text{ если } x \leq a; \frac{x-a}{b-a}, \text{ если } a \leq x \leq b; \frac{c-x}{c-b}, \text{ если } b \leq x \leq c; 0, \text{ если } c \leq x \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma(t) = \sigma(r) = y = \text{trapmf}(x, [a, b, c, d]); \\ y = 0, \text{ если } x \leq a; \frac{x-a}{b-a}, \text{ если } a \leq x \leq b; 1, \text{ если } b \leq x \leq c; \frac{d-x}{d-c}, \text{ если } c \leq x \leq d; 0, \\ \text{если } d \leq x. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

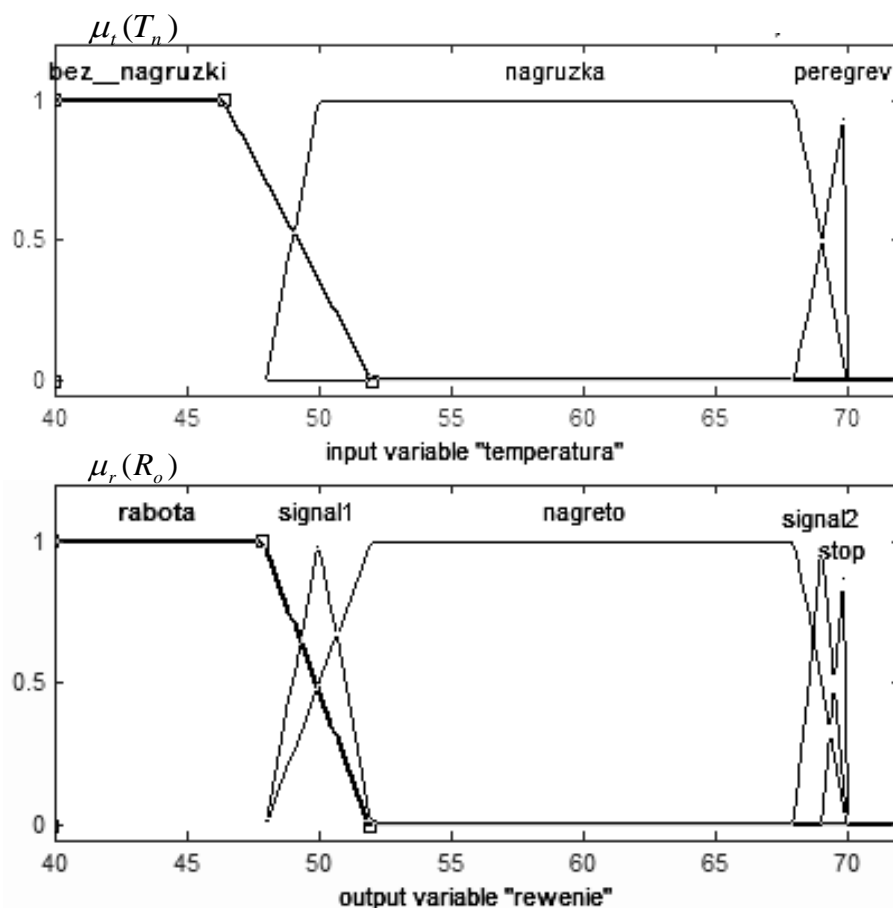


Рисунок 3 – Функции принадлежности параметров t, r

3. Нечеткий алгоритм принятия решения о режиме работы ПУ формируется в блоке нечеткого алгоритма (рис. 2,б). Используя методы комбинаторики с исключением всех повторяющихся случаев, составляем возможные варианты условий нечеткого алгоритма в виде: *if (входная переменная is определенное подмножество) then (выходная переменная is результирующее подмножество)*.

Согласно рисунку 2 условия нечеткого алгоритма будут иметь вид:

if (temperatura is bez_nagruzki) then (rewenie is rabota);
if (temperatura is nagruzka) then (rewenie is signal1);
if (temperatura is nagruzka) then (rewenie is nagreto);
if (temperatura is peregreiv) then (rewenie is signal2);
if (temperatura is peregreiv) then (rewenie is stop).

Алгоритм математической модели принятия решения об отключении ШПУ приведены на рис. 4. После определения текущей температуры ПУ выполняется проверка ее принадлежности к соответствующим температурным диапазонам и формирование выходного сигнала о решении об отключении или продолжении работы ШПУ.

Одновременно выполняется проверка температуры и выдача предупредительной или аварийной сигнализации оператору о состоянии ПУ. Цикл алгоритма будет повторяться до полного отключения ШПУ оператором подъема или до достижения температурой ПУ критического значения.

4. В процессе моделирования, при заданных значениях температуры, происходит идентификация их принадлежности определенному подмножеству. При этом, нечеткий алгоритм, обработав все условия, выдает смоделированные значения переменной *rewenie* (рис. 5). Далее система сопоставляет его с определенной лингвистической переменной (табл. 1) и делает вывод о режиме работы (табл. 2).

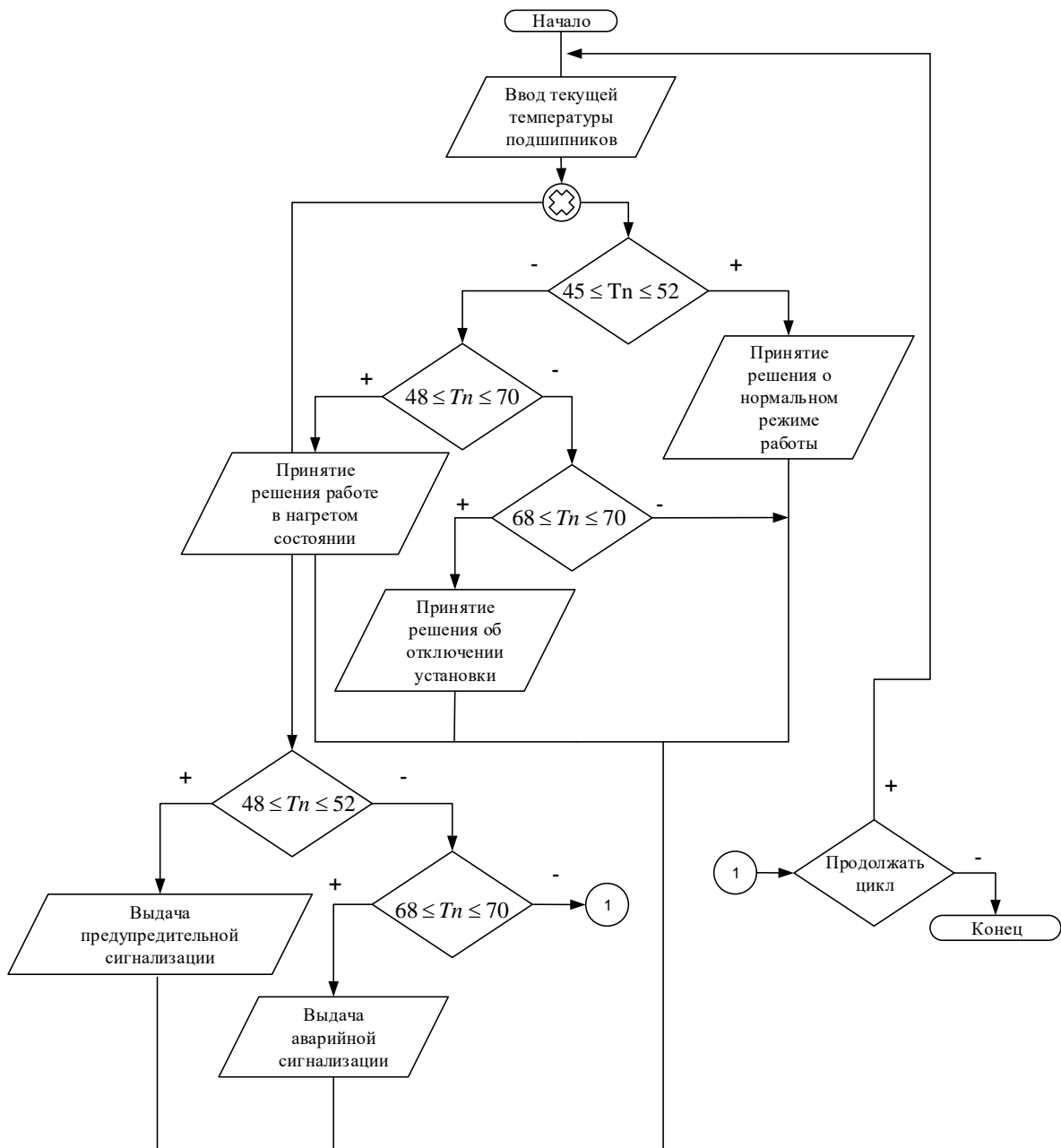


Рисунок 4 – Алгоритм процесса принятия решения о выборе режима работы ШПУ при разной температуре ПУ

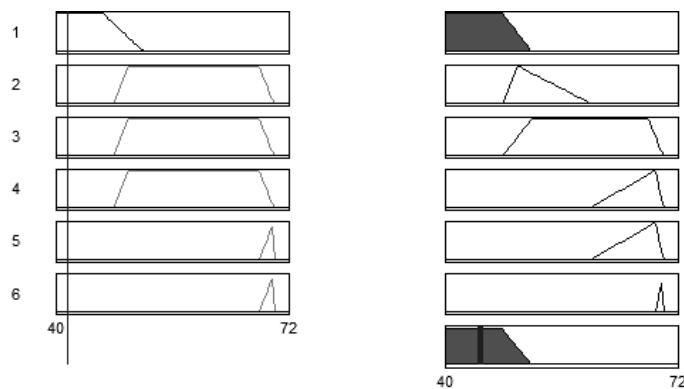


Рисунок 5.а - Моделирование значения переменной *режиме* для режима работы при нормальном значении температуры ПУ

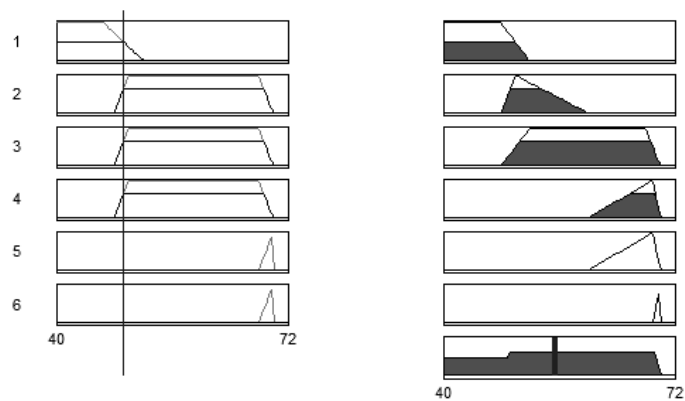


Рисунок 5.б - Моделирование значения переменной *gewepie* для режима работы при условно нормальном значении температуры ПУ или условно нагретом состоянии

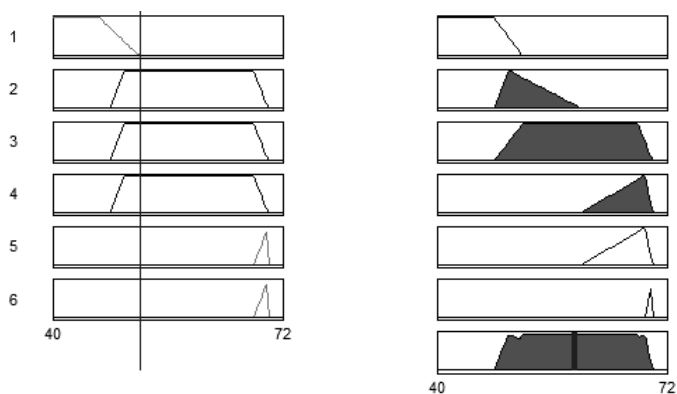


Рисунок 5.в- Моделирование значения переменной *gewepie* для режима работы в нагретом состоянии ПУ

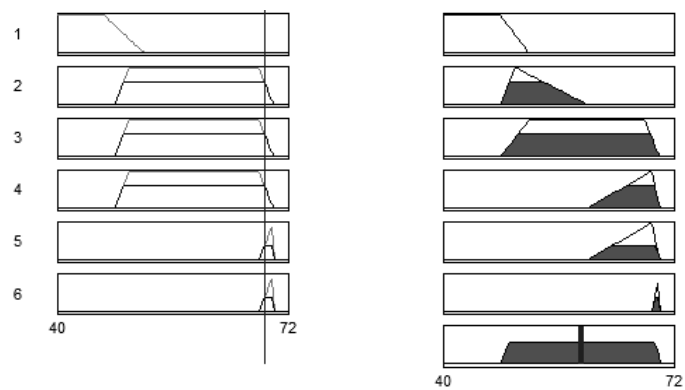


Рисунок 5.г - Моделирование значения переменной *gewepie* для режима работы при условно нагретом или условно критическом состоянии ПУ

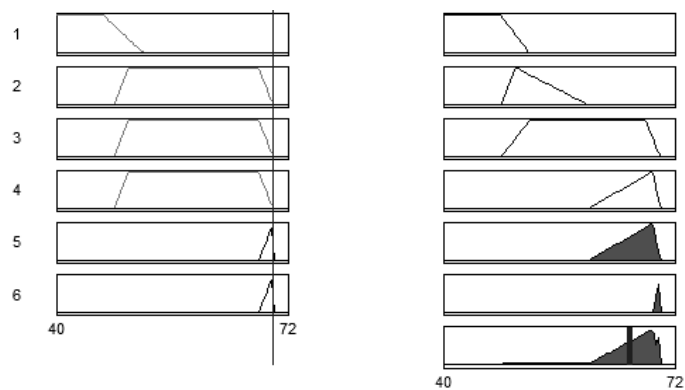


Рисунок 5.д - Моделирование значения переменной *gewepie* для режима работы при критических температурах ПУ

Таблица 2 - Результаты моделирования значения переменной *rewenie*

№ п/п	Температура, °С	Значение переменной <i>rewenie</i>	Выводы
1	40	<i>rabota</i>	Нормальный режим работы (рис. 5,а)
2	45	<i>rabota</i>	
3	50	<i>rabota</i>	
4	48	<i>signal1</i>	Выдача предупредительной сигнализации (рис 5, б, в)
5	50	<i>signal1</i>	
6	48	<i>nagreto</i>	Работа в нагретом, но еще не в критическом состоянии (рис. 5, в)
7	50	<i>nagreto</i>	
8	51-67	<i>nagreto</i>	
	68	<i>nagreto</i>	
9	68	<i>signal2</i>	Выдача аварийной сигнализации (рис. 5, г, д)
10	70	<i>signal2</i>	
11	70	<i>stop</i>	Полное отключение установки (рис. 5, д)

По результатам моделирования построена кривая функциональной зависимости двух лингвистических переменных *temperatura* и *rewenie*. (рис. 6). Эта кривая определяет допустимый диапазон варьирования температуры ПУ для безоговорочного принятия решения о нормальном режиме работы с текущей температурой 45-60 °С. При условии, что указанная ранее рабочая температура подшипников составляет 50-65 °С, то можно судить о нормальной точности результатов моделирования.

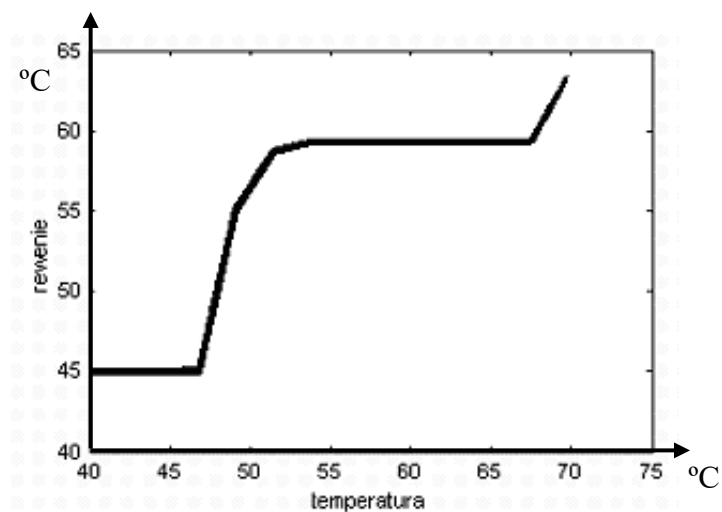


Рисунок 6 - График функциональной зависимости лингвистических переменных *temperatura* и *rewenie*

Предложенная нечеткая модель процесса принятия решения о работе ШПУ с учетом текущей температуры нагрева ПУ позволяет получить адекватные варианты нахождения объекта в рабочем или нерабочем состоянии. Неопределенности принятия такого решения вызваны функциональной ограниченностью существующей системы управления ШПУ и методов контроля температуры ПУ.

Особенностью предложенной модели является то, что она имитирует принятия решения о рабочем режиме подъемной установки с точки зрения машиниста подъема с учетом текущего значения температуры нагрева ПУ. То есть, даже при работе ШПУ в определенных эксплуатационных режимах и температурном диапазоне ближе к критическому, можно продолжить работу, а не отключать установку.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ МЕТОДИЧЕСКОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Комаха С.Н., магистрант; Неежмаков С.В., доц., к.т.н., Ткаченко А.Е., к.т.н., доц.
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В наше время процесс производства качественного проката является одним из важнейших во всем многообразии металлургических процессов. Получить конкурентоспособную продукцию достаточно сложно, поскольку этот процесс требует одновременного контроля большого количества параметров.

Для прокатного цеха актуальными проблемами является уменьшение высокого расхода топлива, необходимого для сжигания и нагрева заготовок; а также недопущение выдачи заготовок недогретыми, либо перегретыми, что влияет на качество выпускаемого продукта. В связи с этим процесс контроля расхода газообразного топлива и температуры в нагревательных печах и колодцах вызывает большой интерес.

Целью данного исследования является изучение и разработка методов повышения эффективности работы методической нагревательной печи (МНП) путем синтеза системы автоматического управления расходом топлива, обеспечивающей на выходе из печи заготовки нужной температуры, а также синтез устройства, позволяющего на практике устранять негативные явления, имеющие место в процессе нагрева.

Рассмотрим основные технологические особенности процесса нагрева металла в МНП.

Методическая печь – это проходная печь для нагрева металлических заготовок перед обработкой давлением (прокатка, ковка, штамповка). В свою очередь проходной печью называется печь непрерывного действия, в которой нагреваемые заготовки движутся вдоль печи, перемещаемые толкателем, рольгангом или другими механизмами [1,2].

Распределение температур по сечению заготовки, обеспечивающее необходимую пластичность металла, должно достигаться за определенное время без чрезмерного перегрева поверхности металла. Нагревательные устройства должны обеспечить кондиционный нагрев металла в условиях переменного ритма работы стана и при минимальном расходе топлива. Качество нагрева определяется выбранным графиком нагрева металла, т. е. скоростью и продолжительностью нагрева в каждой из зон печи. Каждому графику нагрева соответствуют конечная температура поверхности металла, неравномерность температур по сечению заготовки и величина угара металла. В современных методических печах кривая, характеризующая распределение температур по длине печи, круто поднимается на участке, соответствующем загрузочному концу печи, и становится пологой на участке, соответствующем высокотемпературной зоне ее [2,3].

Соблюдение такого графика обеспечивается высокой температурой отходящих газов. Применение его особенно целесообразно при нагреве толстых заготовок, так как теплопроводность металла уменьшается с повышением его температуры. С повышением температуры в сварочной зоне трехзонных печей необходимое время выдержки в томильной зоне часто удлиняется в большей степени, чем сокращается время нагрева в методической и сварочной зонах. Поэтому оптимальное значение температуры сварочной зоны, соответствующее нагреву металла до заданных кондиций, соответствует в первую очередь, заданной неравномерности температур по сечению заготовки.

Интегральным экономическим показателем технологии нагрева и конструкции печи является себестоимость нагрева и срок окупаемости капиталовложений в строительство или реконструкцию печи при гарантированном качестве продукции и соответствии экологическим нормам [1,2].

В настоящее время производительность печи является варьируемым фактором. Одну и ту же производительность можно обеспечить при работе одной или нескольких печей.

Существует понятие оптимальной производительности печи, соответствующей минимуму расхода энергии на нагрев металла, либо минимуму себестоимости нагрева.

На передний план выдвигается требование эффективного использования топлива и других ресурсов, т.е. проблема энерго- и ресурсосбережения [1]. Таким образом, система автоматизации должна обеспечивать:

- получение качественного продукта на выходе МНП;
- сведение к минимуму количества отбракованного материала;
- уменьшение затрат на энергопотребление;
- механизация труда при эксплуатации и ремонте печи и автоматизация её теплового режима;
- эффективное использование топлива.

Достичь выполнения вышеприведенных требования и оптимальных экономических показателей возможно путем комплексной автоматизации работы МНП.

Так, представленный ниже алгоритм автоматического управления работой МНП (см. рис.1) позволит качественно управлять процессом нагрева и добиться оптимальной производительности печи, что подразумевает под собой минимум расхода энергии на нагрев металла, либо минимум себестоимости нагрева, а также снижение количества бракованной продукции на выходе из печи.

На рисунке 1 приведены следующие условные обозначения:

АТ – микроконтроллер Atmega16; t

mз, tсвз – температуры сварочной и методической зоны МНП (уставочные);

ВПсв, ВПм – расход топлива на сварочную и методическую зону, соответственно;

K1, K2, K3 – кнопки задания температуры в зоне (единицы, десятки, сотни, соответственно);

K4 – кнопка выбора зоны (методическая/сварочная);

K5 – сброс набранного значения температуры;

K6 – переключение в ручной режим;

HD – алфавитно-цифровой модуль ЖКД;

VU1 – VU4 – оптопары, с помощью которых реализуется гальваническая развязка;

MAX13485E – интерфейс RS-485.

В соответствии с рис.1 устройство работает следующим образом:

1 – блок начала

2 – блок ввода входных данных;

3 – блок описания состояния выходных параметров;

4 – проверка режима: если K6=1, то устройство переведено в ручной режим, что позволяет нагревателю установить нужную температуру в зоне;

7 - блок выбора контролируемой зоны (методической или сварочной), которая выводится на ЖКД-модули;

8 - блок проверки отклонения фактической температуры от установленной нагревателем в сварочной зоне;

9 - блок выработки управляющего воздействия. Если заданная температура ниже фактической, то микроконтроллер (МК) реализует сигнал высокого уровня, который проходит через элементы гальванической развязки и замыкает контакт реле K1.1;

10 - блок, аналогичный блоку 9, за исключением того, что замыкается контакт реле K2.1;

11,12 - в зависимости от того, какой контакт реле замкнулся, происходит повышение или снижение расхода топлива путем увеличения или уменьшения угла поворота заслонки на газопроводе;

18 - блок задания выдержки времени с целью оценки управляющего воздействия.

Блоки 13-17 аналогичные блокам 8-12, за исключением того, что регулирование температуры происходит в методической зоне.

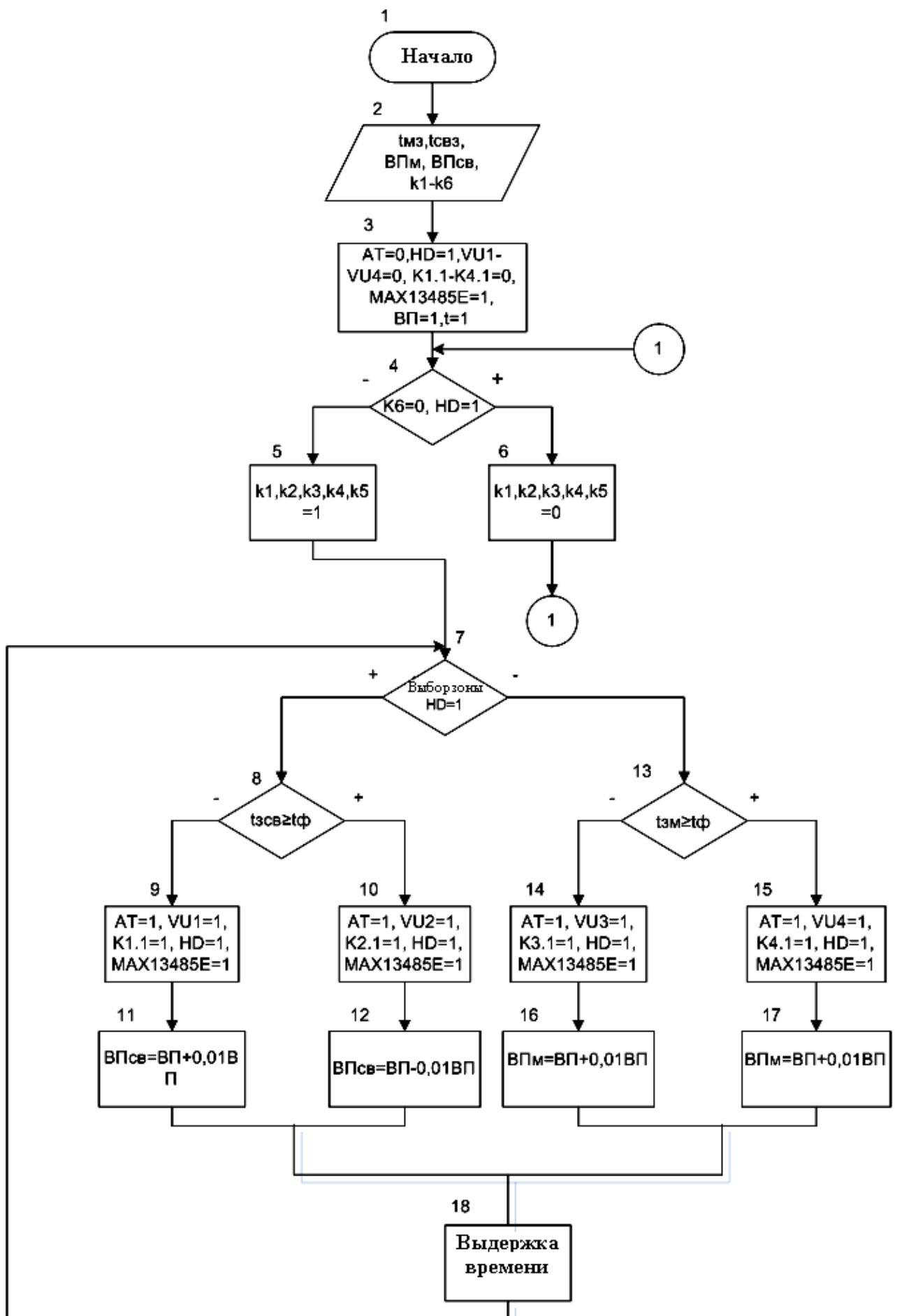


Рисунок 1 - Алгоритм работы устройства

В соответствии с представленным алгоритмом предложена техническая реализация устройства автоматизации в виду структурной и функциональной схем. Структурна схема устройства представлена на рис. 2.

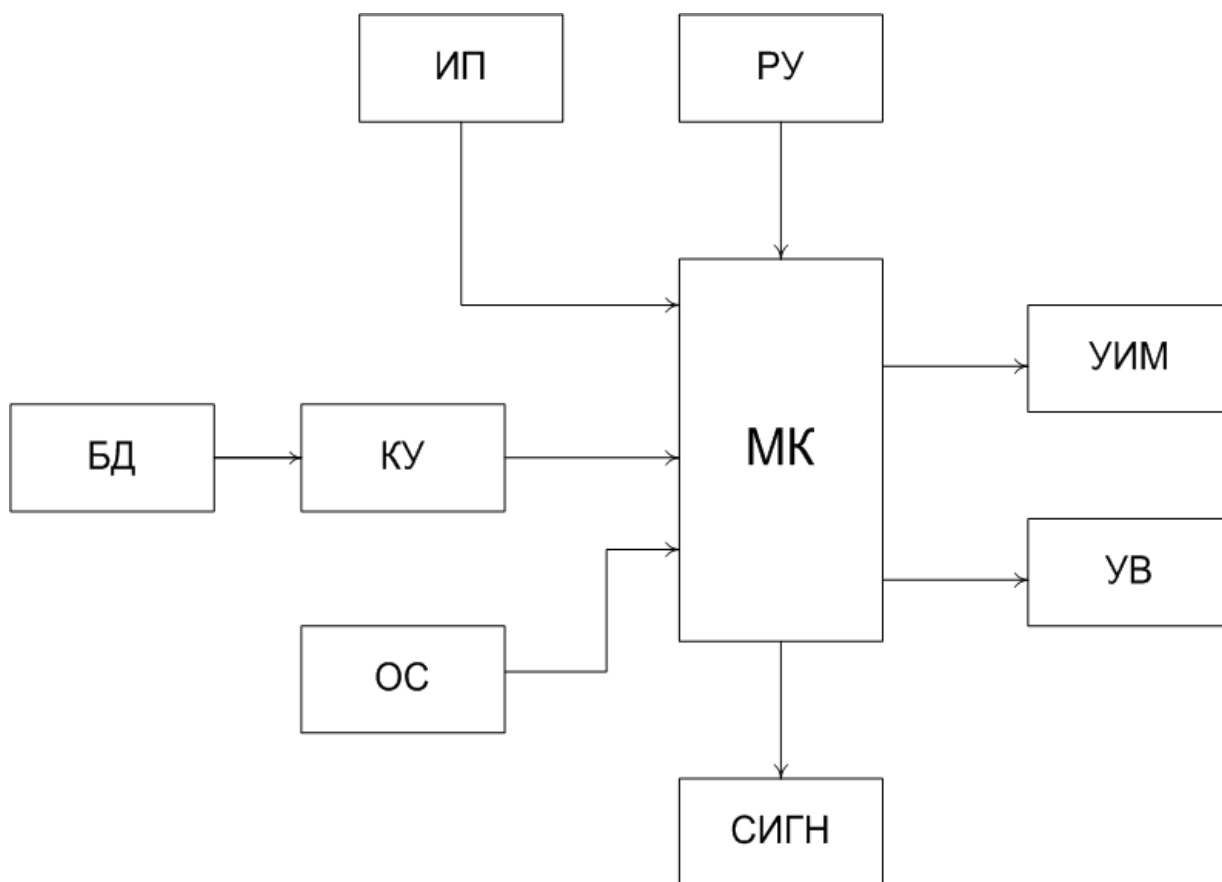


Рисунок 2 – Структурная схема разрабатываемого устройства: БД – блок датчиков (термопар); КУ - коммутационное устройство (согласование амплитуды на выходе датчика с допустимым напряжением на входе ОУ); ОС – опорный сигнал для сравнения с фактической температурой; МК – микроконтроллер; СИГН – сигнализация о ручном или автоматическом режиме; РУ – ручное управление; ИП- источник питания; УВ – устройство визуализации информации о процессе нагрева; УИМ – управление исполнительным механизмом.

Схема работает следующим образом. Информационные сигналы о фактической температуре с блока датчиков БД поступают на микроконтроллер МК через коммутационное устройство КУ, где сравниваются с температурой, заданной оператором, после чего в зависимости от того, какая из температур больше, сигнал поступает на исполнительный механизм УИМ для увеличения (уменьшения) расхода топлива, подводимого к горелкам. Устройство визуализации УВ дает диспетчеру наглядную информацию о ходе процесса нагрева.

Исходя из структурной схемы была разработана функциональная схема устройства автоматизации нагрева слябов в МНП перед прокаткой, приведенная на рис.3.

Функциональная схема работает следующим образом. Сигналы с датчиков фактической температуры и фактического расхода в каждой зоне, предварительно усиливаясь (усилители А), поступают на микроконтроллер МК. В микроконтроллере уставка температуры в зоне сравнивается с фактической температурой. Возникает сигнал рассогласования, который обеспечивает выработку управляющего воздействия, выходящего с МК на исполнительные реле К1...К4. Искробезопасность цепей управления обеспечивается гальванической развязкой (VU1-VU4). Питание цепей обеспечивается стабилизированным источником питания TV. Снятие данных с микроконтроллера и вывод

их на ПК обеспечивается с помощью интерфейса RS-485. Фактическая температура отображается на алфавитно-цифровом модуле ЖКД (СТ). При переводе в ручной режим можно уставку температуры задать кнопками SB [11].

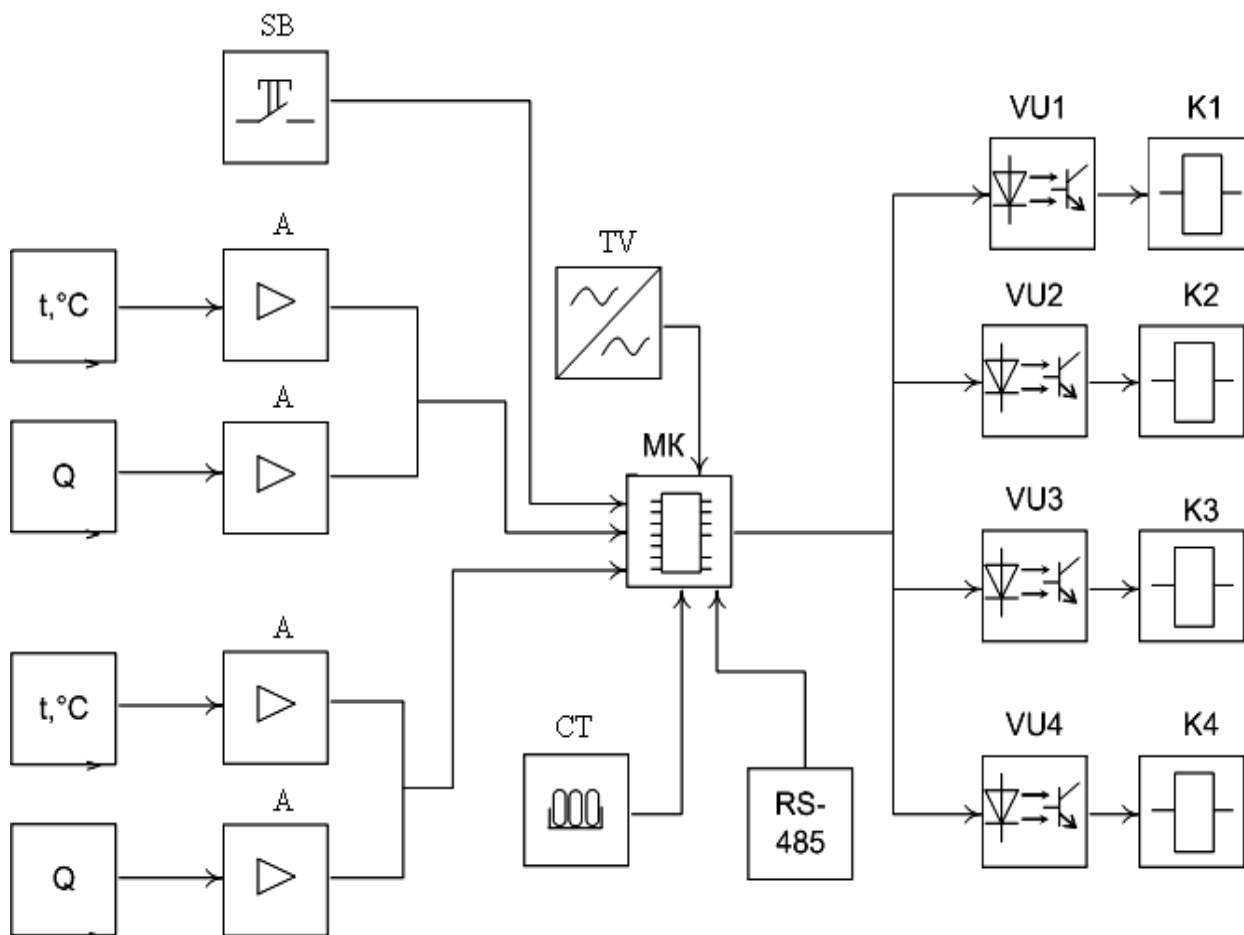


Рисунок 3 – Функциональная схема устройства автоматизации нагрева слэбов в МНП перед прокаткой

Таким образом, была решена задача получения на выходе методической печи заготовок нужного качества (требуемой температуры и равномерного прогрева по всему объему) и пониженной себестоимости, что обеспечено выполнением условия уменьшения расхода газообразного топлива, идущего на нагрев, путем разработки системы автоматического управления работой МНП.

Для ее практической реализации были разработаны алгоритм автоматизации работы МНП, а также структурная и функциональная схемы устройства автоматического управления работой данного объекта.

Перечень ссылок

1. Высокотемпературные теплотехнические процессы и установки в металлургии: [учебн. пос.] / М.П. Ревун, Б.Б. Потапов, В.М. Ольшанский, А.В.Бородулин. – Запорожье: ЗГИА. – 2002. - 443 с.
2. Маковский, В. А. Алгоритмы управления нагревательными печами : монография / В. А. Маковский, И. И. Лаврентик . – М. : Металлургия, 1977 . – 183 с.
3. Ревун, Михаил Павлович. Автоматическое управление нагревом металла [Текст] / М. П. Ревун, В. И. Гранковский. - Киев : Техніка, 1973. - 140 с. : черт.;

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЯМ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Рак А.Н., к.т.н., доц., Саулин В.К., ст.пр., Мирошниченко Н.Н., асс.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Анализ технических средств контроля за безопасным проведением горных работ показал, что одним из эффективных способов повышения безопасности горных работ является дегазация угольного массива, при которой также можно получить дополнительный источник электрической энергии. Для этого необходимо выполнить целый комплекс мероприятий связанных с контролем добычи, транспортированием, хранением, сжиганием и контролем экологической ситуации.

Объективные тенденции развития мировой экономики свидетельствуют, что потребность в ископаемом угле не снижается. Обусловлено это тем, что запасы основных углеводородов нефти и природного газа – ограничены и стремительно истощаются. Угля в земных недрах значительно больше. Но запасы угля, расположенные в благоприятных горно-геологических условиях, на небольших глубинах, практически исчерпаны, поэтому приходится осваивать все более глубокие горизонты, а это требует решения комплекса новых проблем, где горные работы ведутся на глубинах 1000м и более, и в основном обусловлены повышением газоносности угольных пластов и вмещающих пород, а также связанными с этими газодинамическими процессами – усилением проявления горного давления, ростом температуры углепородного массива.

Применявшиеся до настоящего времени технические средства ведения горных работ и обеспечения их безопасности оказываются недостаточно эффективными. Так, например, созданные в последние годы усилиями ученых, машиностроителей и специалистов угольной отрасли высокомеханизированные мощные комплексы для очистных забоев из-за так и нерешенных вопросов дегазации, пожаро- и взрывозащиты, а также других вопросов безопасности не могут работать на полную мощность.

Одним из эффективных способов повышения безопасности горных работ является дегазация угольного массива, которая с одной стороны позволяет снизить выбросоопасность угольных пластов, а с другой стороны появляется возможность получения дополнительных источников электрической и тепловой энергии путем применения когенерационных установок (КГУ) (рис.1). Существующая схема КГУ предполагает наличие утилизационного котла (УК), где происходит нагревание воды и получение пара, используемых для собственных нужд предприятия. Нами предлагается для повышения эффективности КГУ дополнительно установить генерирующий модуль (ГМ), состоящий из паровой турбины (ПТ) и генератора. Для более успешного решения вопросов, связанных с увеличением мощностей КГУ необходимо рассмотреть вопросы, связанные с эффективностью передачи тепловой и электрической энергии.

Если вопросы передачи электрической энергии достаточно полно излагаются в учебной литературе, например в [1], то вопросы, связанные с передачей гидравлической энергии имеют довольно специфический характер и в литературе практически не рассматриваются.

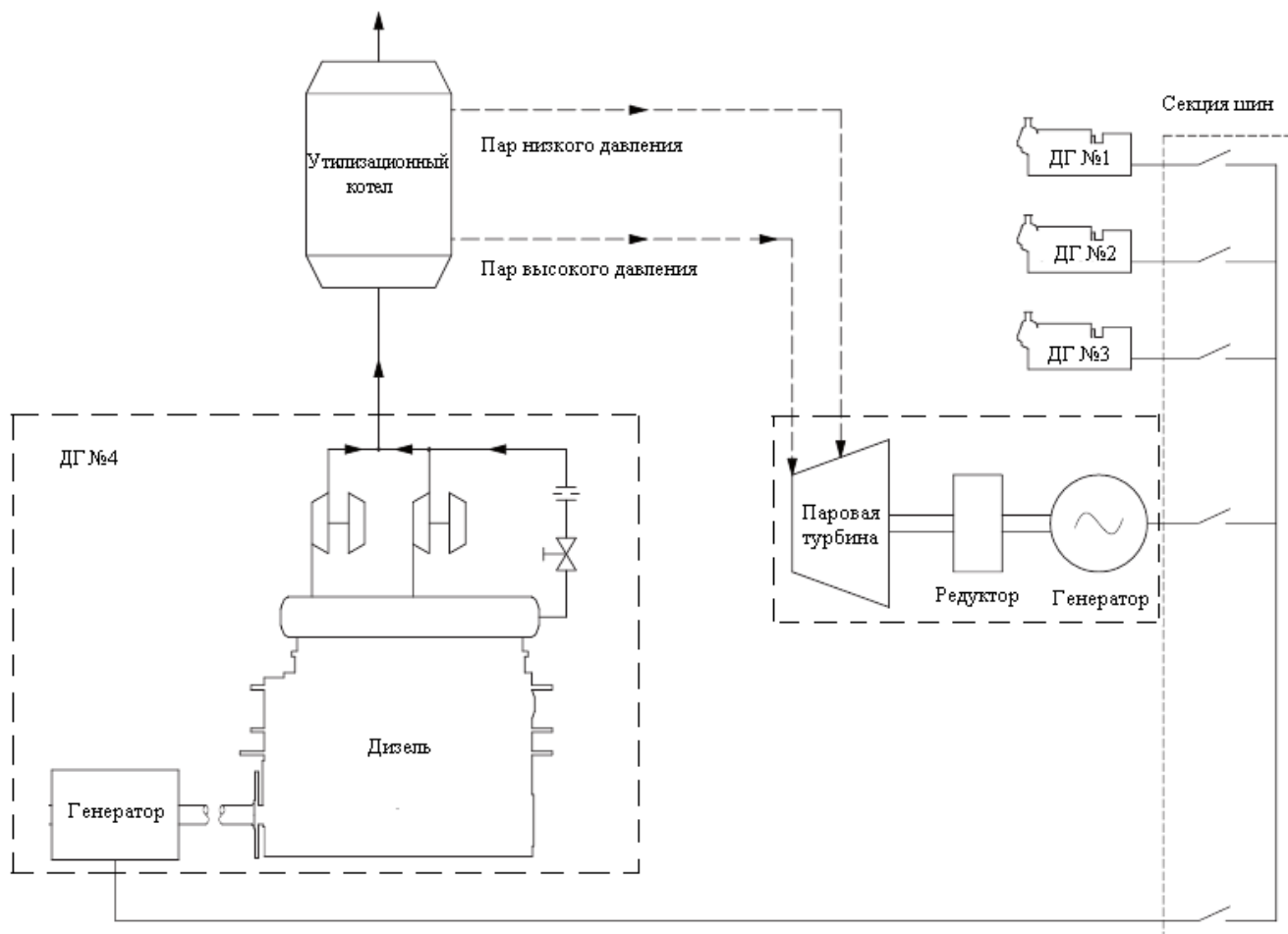


Рисунок 1 – Схема модернизированной когенерационной установки

Рассмотрим гидротранспортную систему как аналог электроэнергетической системы (рис.2).

КПД гидротранспортной системы в соответствии с рекомендациями [2] определяется выражением:

$$\eta = \frac{N_{\text{ВХ}} - \Delta N}{N_{\text{ВХ}}} = 1 - \frac{\Delta N}{N_{\text{ВХ}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ВХ}}$ – подведенная к гидротранспортной системе мощность, Вт, определяемая в соответствии с выражением:

$$N_{\text{ВХ}} = P \cdot Q, \quad (2)$$

где P – давление на входе в систему, Па; Q – расход жидкости в системе, м³/с.
Мощность потерь на выходе системы:

$$N_{\text{ВЫХ}} = P' \cdot Q', \quad (3)$$

где P' – давление на выходе из системы, Па; Q' – расход жидкости на выходе из системы, м³/с.

Потери мощности в системе составят:

$$\Delta N = \Delta P_{\text{ПОТ}} \cdot \Delta Q_{\text{УТ}}, \quad (4)$$

где $\Delta P_{\text{ПОТ}}$ и $\Delta Q_{\text{УТ}}$ потери в гидравлической системе давления и уменьшение расхода, определяемые в соответствии с выражениями:

$$\Delta P_{\text{пот}} = \frac{8\lambda_{\text{ТР}} \cdot l \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^5}, \quad (5)$$

$$\Delta Q_{\text{ут}} = \mu \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot P}, \quad (6)$$

где l - длина трубопровода, м; ρ -плотность жидкости, кг/м³; d – диаметр трубопровода, м.

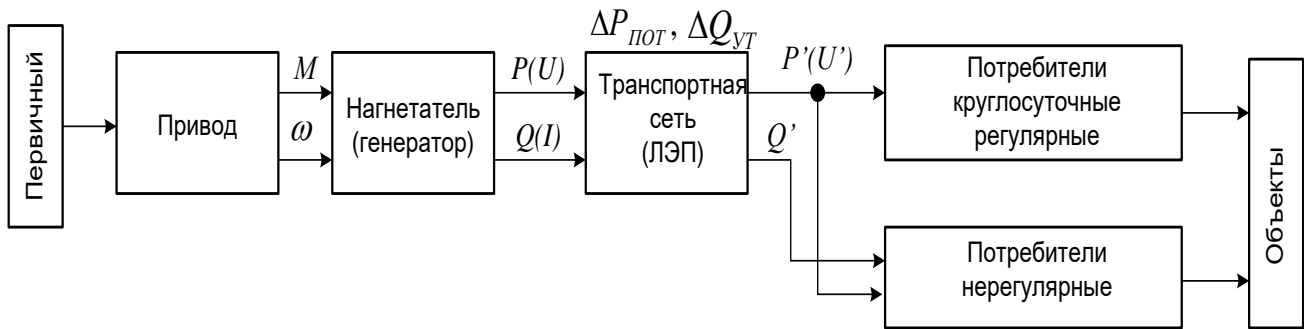


Рисунок 2 – Гидротранспортная система как аналог электроэнергетической системы

Таким образом, КПД передачи в гидравлической системе (1) с учетом выражений (2)-(6) составит:

$$\eta = 1 - \frac{2 \cdot \lambda_{\text{ТР}} \cdot \mu}{\pi \cdot d^3 \cdot P \cdot Q} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot P \cdot Q^4} = 1 - \frac{2 \cdot \lambda \cdot \mu}{\pi \cdot d^3} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho \cdot P} \cdot Q^2} = 1 - K \cdot \frac{Q}{d^3} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot P}}, \quad (7)$$

где $\lambda \approx \frac{0,021}{d^{0,3}} \approx 0,01 - 0,03$ - коэффициент трения (Дарси) для водяных труб; $\mu = 0,68 - 0,86$ - коэффициент расхода для диафрагмы; $K = 1,42 \cdot (\lambda \cdot \mu) = 1,42 \cdot (0,0068 - 0,0258) = 0,0096 - 0,037$.

КПД передачи электроэнергетической системы в соответствии с [1] составит:

$$\eta = 1 - \frac{R_{\text{Л}}}{U_1} \cdot I_{\text{Л}}, \quad (8)$$

где $R_{\text{Л}}$ – сопротивление линии электропередачи, Ом; U_1 - напряжение в начале линии, В; $I_{\text{Л}}$ – ток в линии, А. Анализ выражения (8) показывает, что для повышения КПД передачи электрической энергии необходимо увеличивать напряжение.

Естественно, что элементов, входящих в состав гидротранспортной и электроэнергетической систем гораздо больше. Тогда общий КПД передачи гидротранспортной системы:

$$\eta_{\text{ГС}} = \eta_{\text{ПРИВ}} \cdot \eta_{\text{НАГН}} \cdot \eta_{\text{СЕТИ}} \cdot \eta_{\text{ПОТР}}, \quad (9)$$

где КПД элементов гидротранспортной системы: $\eta_{\text{ПРИВ}} = 0,8 - 0,9$ - привода; $\eta_{\text{НАГН}} = 0,8 - 0,9$ - насоса; $\eta_{\text{СЕТИ}} = 0,8 - 0,9$ - гидравлической сети; $\eta_{\text{ПОТР}} = 0,8 - 0,9$ - потребителей.

КПД передачи электроэнергетической системы:

$$\eta_{\text{ЭЭС}} = \eta_{\text{ГЕН}} \cdot \eta_{\text{АВ}} \cdot \eta_{\text{ТР}} \cdot \eta_{\text{ЛЭП}} \cdot \eta_{\text{ДВ}}, \quad (10)$$

где КПД элементов электроэнергетической системы: $\eta_{ГЕН} = 0,95 - 0,97$ - генератора; $\eta_{АВ} = 0,999$ - автоматического выключателя; $\eta_{ТР} = 0,99 - 0,995$ - трансформатора; $\eta_{ЛЭП} = 0,9 - 0,95$ - линии электропередач; $\eta_{ДВ} = 0,95 - 0,97$ - двигателя.

Для приведенных выше значений КПД гидравлической системы будет составлять 0,41-0,66, а КПД передачи электроэнергетической – 0,8-0,888.

Подводя итог изложенному, можно сделать следующие выводы:

1. Получена зависимость, позволяющая определять и исследовать эффективность гидротранспортной системы. КПД гидротранспортной системы будет тем выше, чем меньше потерь, т.е. чем больше диаметр трубопровода (d) и давление в системе (P), и меньше расход жидкости (Q).

2. КПД гидротранспортной системы (0,41-0,66) меньше по сравнению с КПД электроэнергетической системы (0,8-0,888).

3. Вопросы увеличения мощности КГУ необходимо решать путем оптимизации, т.е. сравнительного анализа технико-экономических показателей.

Перечень ссылок

1. Основы теории цепей: Учебник для вузов/ Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В.Страхов. – 5-е изд., переаб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528с.: ил.
2. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. – М.: Недра, 1987. - 270с.
3. Решения для электростанций. www.wartsila.com.

УДК 622.6

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ С НАКОПИТЕЛЯМИ

Карлов В.А., студ.; Быкова А.М., асс.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР»)

Введение.

Шахтные конвейерные линии в большинстве своем представляют неразветвленные системы конвейеров, расположенные последовательно друг за другом. В соответствии с этим особо остро в таких системах встает вопрос обеспечения высоконадежных технологических схем, т.к. при существующих производительность конвейерных линий остановка ввиду аварии обуславливает ничем невозполнимые убытки в добыче либо снижение интенсивности снятия вскрыши. Другой проблемой является потеря транспортируемого материала, которая оказывают влияние на производительность конвейерной линии. Следовательно, необходимо рассмотреть существующие способы решения данных проблем.

Краткое описание технологического процесса.

На рис. 1 приведена технологическая схема загрузки материала в бункер-накопитель.

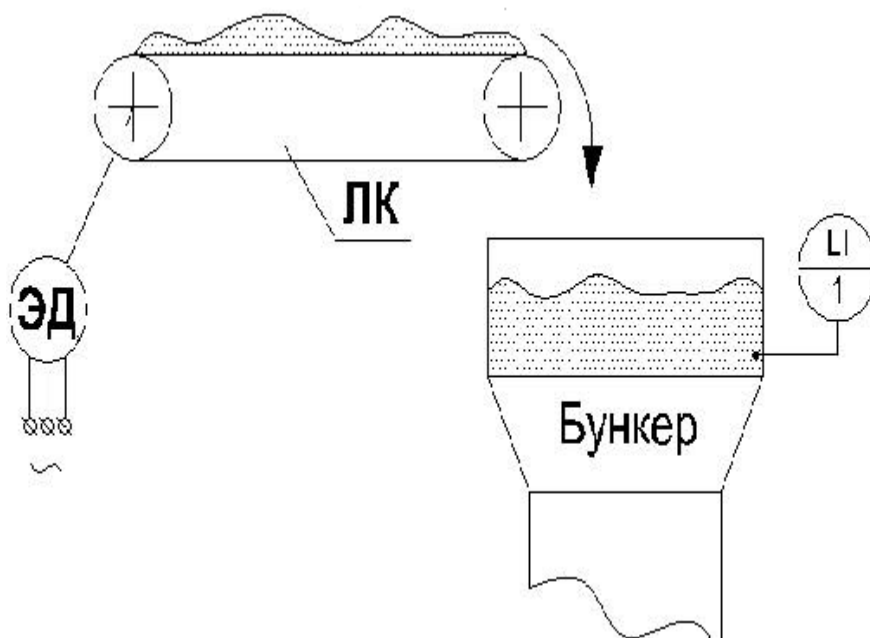


Рисунок 1 – Технологическая схема объекта управления, где ЛК – ленточный конвейер, ЭД - электродвигатель

Лента приводится в работу от приводного барабана, связанного через Передаточные устройства с электродвигателем. Пуск ленты выполняется за счет силы трения между барабаном и лентой, которая появляется при обеспечивании необходимого подготовительного натяжения тягового устройства. Роликовые опоры, приводное и натяжное

прибора укрепляют к станине, сделанной из железного профиля (уголок, швеллер). С ленточного сборочного потока материал поступает в приемный бункер (бункер-накопитель). Контроль степени наполнения бункера выполняется датчиком значения уровня, собственно, что разрешает механически выключать двигатель загрузочного сборочного потока при переполнении бункера и двигатель сборочного потока, на который выполняется разгрузка, при недоступности материала в бункере. Автоматический запуск конвейерной линии может осуществляться двумя способами:

1) Запуск любой конвейера через установленный временной промежуток, который контролируется реле времени;

2) Запуск любой дальнейшего конвейера в линии, после всего этого как предыдущий конвейер достигнет номинальной скорости своего тягового органа.

2 считается предпочтительней, например как уровень загрузки конвейеров автоматически определяет длительность пуска всей линии.

Технологическая схема пуска конвейеров представлена на рис.2.

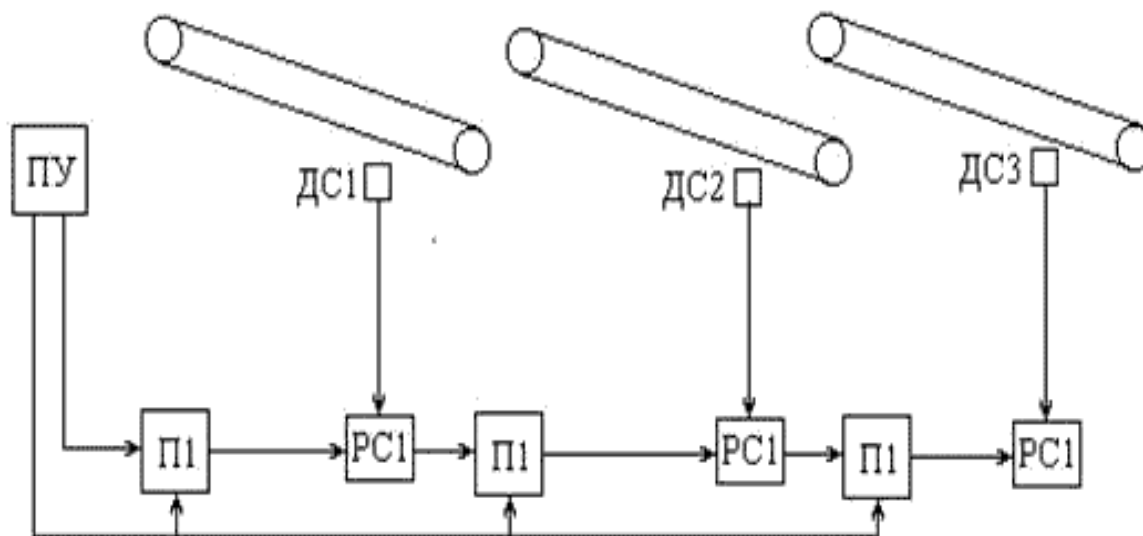


Рисунок 2 – Технологическая схема запуска конвейеров

Команда на пуск конвейерной линии по данной схеме подается с пульта управления ПУ. При этом формируются 2 сигнала. Один из них подается на пускатель привода первого сборочного потока поступает с реле скорости РС предыдущего конвейера, которое включается лишь только тогда, когда скорость рабочего органа этого конвейера превзойдет 75% от ее номинального значения. При аварийной остановке 1-го из конвейеров выключается его реле скорости, вследствие этого пропадает 2 сигнал а пускателе привода дальнейшего сборочного потока. Вследствие он и все последующие конвейеры останавливаются. Принципиально этот метод автоматического управления применяется в большинстве систем управления конвейерами и в аппаратуре типу АУК

Анализ процесса как объекта управления

На рис. 1.1 представлена схема анализа процесса поддержания уровня материала в бункерах шахтной конвейерной линии.

На рис.2 приняты следующие обозначения:

Скл – скорость конвейерной ленты(м/с);

D_m – погонная плотность материала (кг/м), которая является возмущением.

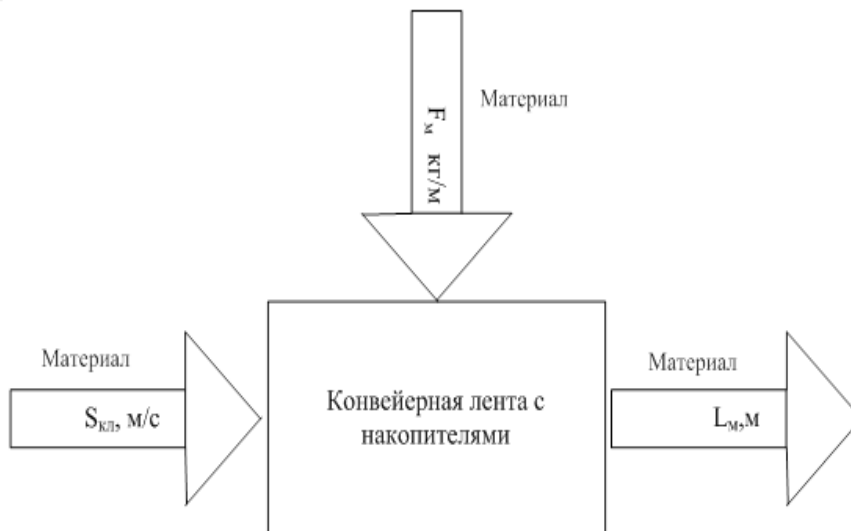
Выходная переменная:

L_m – уровень материала в бункере накопителе (м).

Исходной информацией является уровень материала расположенного в бункерах-накопителях L_m , на основе которого определяется величина рассогласования действительного и заданного уровней материала в бункерах-накопителях. Управляющим

воздействием является скорость конвейерной ленты $S_{кл}$, за счет которой поступает материал в бункера-накопителя. Возмущением же является подача материала (погонная плотность материала) F_m на конвейерную ленту, которая препятствует поддержанию заданного уровня материала в бункерах-накопителях. Исходя из выше изложенной информации и анализа структурной схемы процесса при реализации САУ целесообразно применить принцип управления по отклонению с отрицательной обратной связью.

а)



б)



Рисунок 3 - Схема анализа процесса поддержания уровня материала в бункерах-накопителях шахтной конвейерной линии: а) схема материальных потоков и их информационных переменных; б) структурная схема процесса САУ

Способы решения существующих проблем.

Для увеличения надёжности технологических схем, как правило, осматривают 2 способа. 1 - это на основании статистических данных расценивают наиболее уязвимую составную часть конвейерной линии и производят резервирование это конвейера путём введения транспортных мостов. 2 способ - это повышение составных частей конвейеров. Стационарность грузопотоков оказывает влияние на надёжность работы конвейеров.

Достижение нужной стационарности поступающего грузопотока наверно посредством введения в технологическую схему бункера достаточной ёмкости. С использованием регулируемого привода бункер как накопитель исключается из технологической схемы. Но в это случае возникают частые пуско-тормозные режимы, которые оказывают отрицательное влияние на надёжность конвейерной установки. При лучшем объёме бункера и системы контролируемого привода, берём альтернатива лучший технологической цепочки. Лучший объем бункера рассчитывают из фактора применения бункера как буфера, выравнивающего вершина нагрузки, относительно средней величины, и аккумулятора на время перехода конвейера с невысоким уровнем скорости на высочайший с минимально-возможным ускорением.

2 проблема исправляется посредством сокращения простоев добычных механизмов, связанных с предприятие работы транспорта, а также с возникновением неисправностей. Это обеспечивается следующими событиями: контроль за непревышением фактической загрузки конвейера; устранение просыпания угля на конвейере путём контроля за непревышением фактической величины грузопотока; введение контролируемого торможения для снижения аварийности перегрузочных пунктов, имеющие место при остановке конвейерной линии из-за ровности времени выбега конвейеров введение контролируемого запуска конвейеров в линии, уменьшающее время. Обеспечение максимальной эксплуатационный надёжности конвейеров. Под это следует понимать максимальное использование конвейеров во времени за счет снижения холостой пробегов ленты и обеспечения непрерывности грузопотоков. Существуют следующие подходы к решению задачи:

1. Устранение пересыпов решается путем регулирования моментов пуска-останова конвейеров. Кроме того, в это понятие входит максимальное использование конвейеров по производительности путем стабилизации погонной нагрузки и приближения ее к номинальной.

2. Устранение грузопотоков возможно решить двумя путями: использование регулируемого привода или введение усреднительного бункера. Обеспечение минимального расхода материальных ресурсов достигается за счет увеличения срока службы ленты, роликов, футеровки барабанов и других запасных частей, а также снижение потребляемой электроэнергии.

Выводы.

1. Рассмотрен технологический процесс поддержания уровня материала в бункерах-накопителях шахтной конвейерной линии. В качестве объекта автоматизации выбран участок шахтной конвейерной линии с накопителями. Выполнен анализ данного процесса, как объекта управления, определены входные, выходные, а также возмущающие воздействия. Выбран принцип управления по отклонению с отрицательной обратной связью.

2. Рассмотрены конструктивные изменения и способы реализации существующей конвейерной ленты. Выяснено, что для решения задачи пересыпа и грузопотока решается путем регулирования моментов пуска-останова конвейеров, использование регулируемого привода или введение усреднительного бункера

Перечень ссылок

1. Технические средства автоматизации в горной промышленности: Учебное пособие / Груба В.И., Никулин Э.К., Оголубченко А.С. Под общей редакцией Грубы В.И. -Киев: ИСМО,1998.-373с.

2. Системы и устройства автоматики для горных предприятий на основе микроэлектроники и микропроцессорной техники / под ред. Ю.Н. Камынина и Л.Г. Мелькумова. -М.: Недра, 1992.-322с.

3. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. Г.: «Недра», 1986. - 432с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫМ КОНВЕЙЕРНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ШАХТЕ «ЩЕГЛОВСКАЯ-ГЛУБОКАЯ»

Степанин А.А., студ.; Хорхордин А.В., проф., доцент, к.т.н
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Транспортная конвейерная система шахты представляет собой комплекс оборудования, который в целом разделяют на две подсистемы:

- конвейеры и конвейерные линии;
- бункеры и средства сопряжения конвейеров.

Схема конвейерного транспорта шахты «Щегловская-Глубокая» приведена на рис. 1.

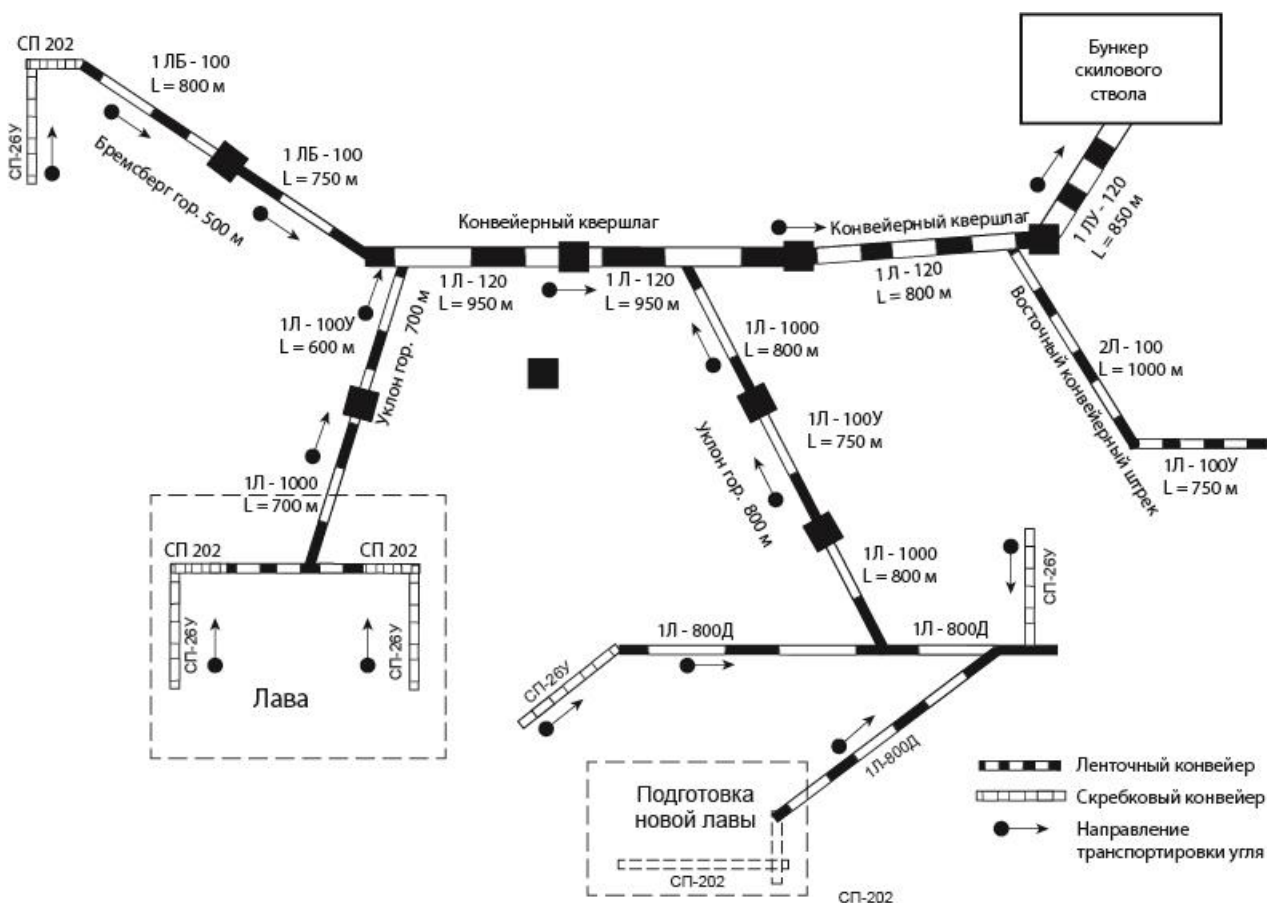


Рисунок 1- Схема конвейерного транспорта шахты «Щегловская-Глубокая»

Комплекс подземного конвейерного транспорта шахты «Щегловская-Глубокая», как и большинства угольных шахт, состоит из участкового и магистрального транспорта. Из рисунка 1.1 видно, что система конвейерного транспорта шахты «Щегловская-Глубокая» состоит из ленточных конвейеров различных типов и производителей с шириной ленты 800, 1000 и 1200 мм.

Анализ схемы подземного конвейерного транспорта (рис.1) показывает, что основу участкового транспорта составляют ленточные конвейеры 1Л-800Д, 1Л-100У, 1Л-1000, 1ЛБ-

100, которые располагаются в горизонтальных выработках - конвейерных штреках лав (1Л-800Д) и наклонных выработках – уклонах (1Л-100У, 1Л-1000) и бремсбергах (1ЛБ-100). Магистральный транспорт осуществляется по конвейерному квершлаг конвейерами 1Л-120 и по центральному уклону конвейерами. Наклон бремсберга (рис.1) составляет -10° . Согласно правилам технической эксплуатации и правилам безопасности в угольных и сланцевых шахтах для наклонных выработок - бремсбергов с углом наклона до -16° применяются конвейеры марки ЛБ. На рассматриваемой шахте «Щегловская-Глубокая» это требование выполняется: согласно схеме поземного конвейерного транспорта (рис. 1) применяются конвейеры типа 1ЛБ-100.

В качестве объекта управления выбрана магистральная конвейерная линия шахты, которая состоит из конвейеров, расположенных в конвейерном квершлаг и центральном уклоне. Схема объекта управления представлена на рис. 2.

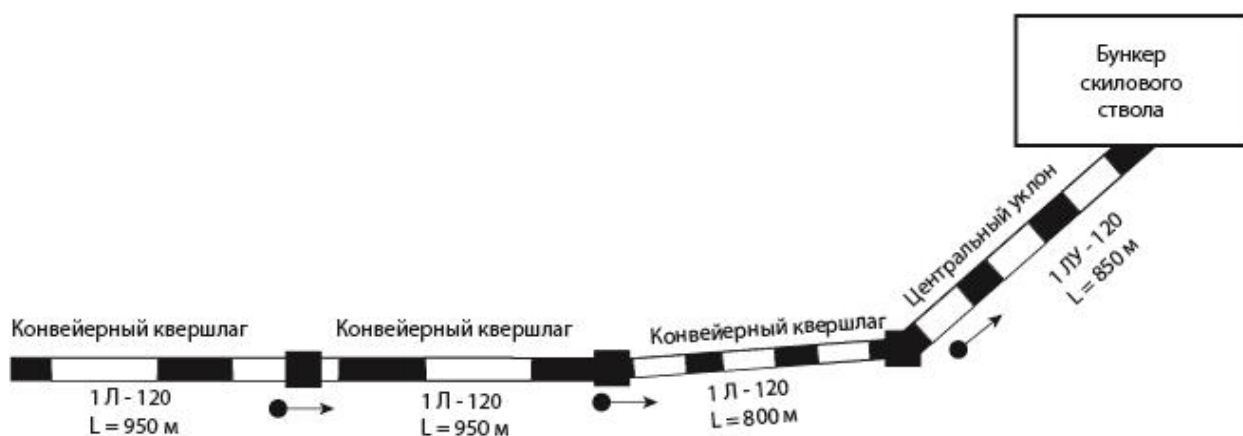


Рисунок 2 – Схема магистрального конвейерного транспорта шахты им. «Щегловская-Глубокая»

Для анализа проблем, возникающих при работе данного сложного объекта управления и разработке системы его автоматизации требуется рассмотреть особенности и характеристики шахтных ленточных конвейеров, а также вопросы, связанные с путями повышения эффективности эксплуатации магистральных конвейерных линий.

В состав объекта управления – магистральной конвейерной линии (рис.2) входят 4 ленточных конвейера – один конвейер 1ЛУ-120 и три конвейера 1Л-120. Данные ленточные конвейера имеют все основные элементы ленточного конвейера: ленту, привод, роlikоопоры, став и натяжное устройство. Схема конвейера 1ЛУ-120 приведена на рис. 3, конвейера 1Л-120 – на рис.4.

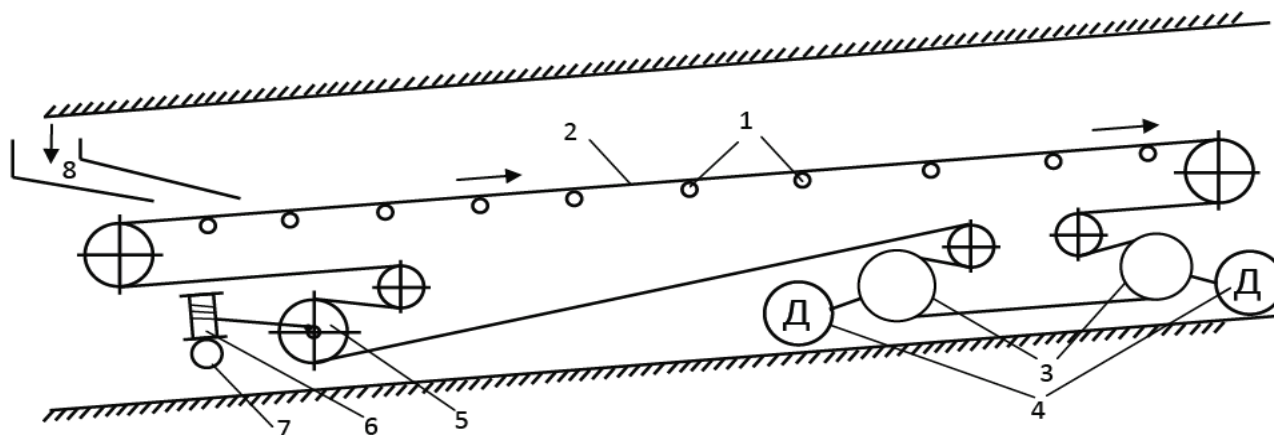


Рисунок 3 – Кинематическая схема ленточного конвейера 1ЛУ-120

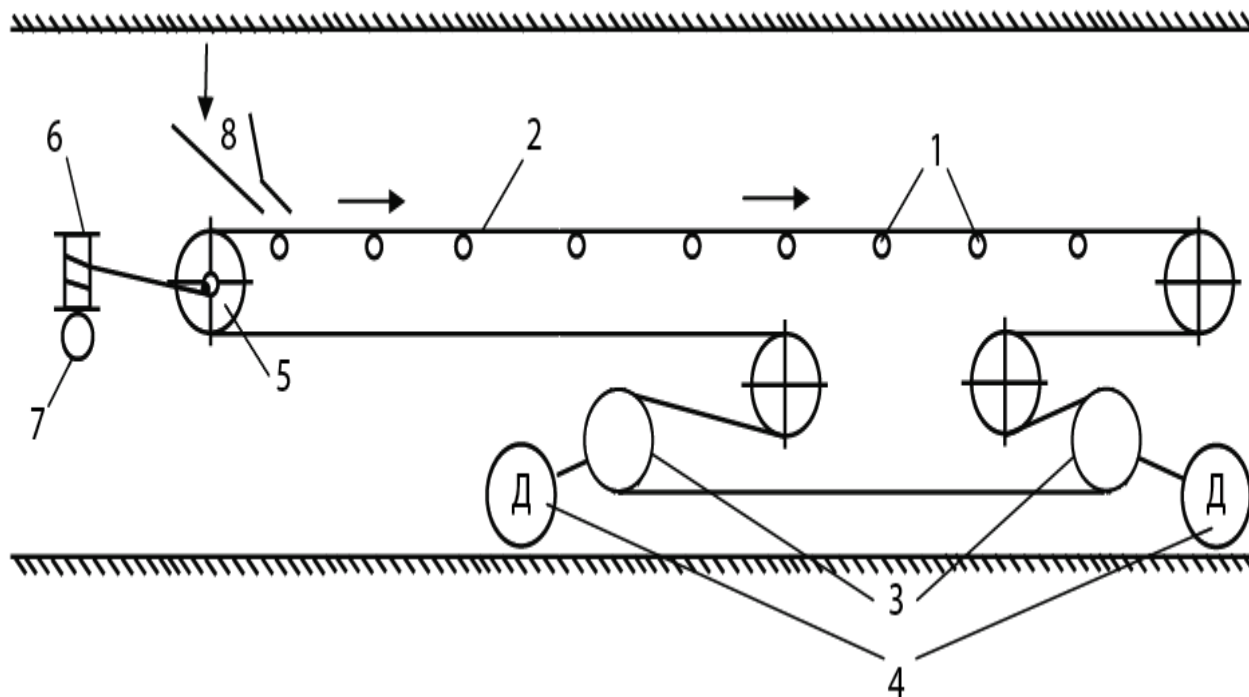


Рисунок 4 - Кинематическая схема ленточного конвейера 1Л-120

Все выше рассмотренные особенности и проблемы ленточных конвейеров характерны и для используемых в качестве магистрального транспорта конвейеров 1ЛУ-120 и 1Л-120 (рис.3, рис 4).

Конвейер 1ЛУ-120 имеет два приводных блока (рис.3) с трехфазными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором мощностью по 250 кВт. Натяжное устройство данного конвейера состоит из натяжного барабана 5, лебедки 6 и электропривода лебедки 7. Расположение натяжного устройства и приводных блоков разностороннее – приводные блоки расположены в конце конвейера, натяжное устройство – в начале. Рассмотренные факторы вынуждают рассматривать ленточный магистральный конвейер 1ЛУ-120 как объект с распределенными параметрами, что необходимо учитывать при разработке системы автоматического управления.

Конвейер 1Л-120 имеет два приводных блока (рис.4) с трехфазными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором мощностью по 250 кВт. Натяжное устройство данного конвейера состоит из натяжного барабана 5, лебедки 6 и электродвигателя лебедки 7 (рис.4) и расположено в начале конвейера, приводные блоки – в его конце.

С учетом выполненного выше анализа особенностей магистральных конвейеров, применяемых на шахте «Щегловская-Глубокая», получена схема основных каналов управления и взаимосвязи технологических параметров в одиночном магистральном ленточном конвейере (рисунок 5).

Основными управляемыми переменными, характеризующими магистральный ленточный конвейер, являются (рис.5):

- скорость конвейерной ленты V_K ;
- проскальзывание конвейерной ленты $S_{ПР}$.

Управляющими воздействиями, позволяющими требуемым образом влиять на рассмотренные управляемые переменные, являются (рис.5):

- частота вращения приводных электродвигателей конвейера ω ;
- величина перемещения натяжного барабана конвейера $l_{НБ}$.



Рисунок 5 – Представление магистрального ленточного конвейера как объекта автоматизации

Переменная q_y (рис.3.1) – количество угля, поступающего на магистральный ленточный конвейер в единицу времени (расход угля) является и возмущающим и задающим воздействием одновременно: для задачи (контура) управления скоростью конвейерной ленты с целью стабилизации грузопотока – задающим воздействием, для задачи (контура) управления натяжением конвейерной ленты (пробуксовкой ленты) – возмущающим воздействием.

Для решения задач автоматизированного управления конвейерным транспортом применяется ряд комплексов, таких как АУК.1М, АУК.2М, САУКЛ и прочие. Однако эти системы не отвечают приведенным выше требованиям к САУ магистральным конвейерным транспортом.

Первостепенной задачей автоматизации конвейерного транспорта есть управление пуском, остановкой и блокировками в условиях технологического процесса с целью уменьшения затрат на перевозку полезных ископаемых. Сокращение потребления электроэнергии. Увеличение времени жизни быстро изнашиваемых дорогостоящих частей конвейера.

Разрабатываемая система управления магистральным конвейерным транспортом должна выполнять задачу автоматического управления производительностью конвейерных линий для стабилизации потока груза и оптимизации режимов их эксплуатации.

Перечень ссылок

1. Технические средства автоматизации в горной промышленности: Учебное пособие/Груба В.И., Никулин Э.К., Оголобченко А.С. Под общей редакцией Грубы В.И. -Киев: ИСМО,1998.-373с.
2. Системы и устройства автоматики для горных предприятий на основе микроэлектроники и микропроцессорной техники/ под ред. Ю.Н. Камынина и Л.Г. Мелькумова. -М.: Недра, 1992.-322с.
3. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. Г.: «Недра», 1986.-432с.
4. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта / Стадник Н.И. и др. К.: Техника, 1992. - 438с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ЛИЦУ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Белов Я.А., студ.; Чернышев Н.Н., доцент, к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В рамках данной бакалаврской работы производится исследование метода и подхода к решению задачи биометрической идентификации человека с помощью нейронных сетей. Целью данной работы является идентификация человека по лицу с помощью ИНС.

В качестве биометрических факторов было выбрано изображение лица, т. к. было выявлено, что идентификация по данному параметру является наиболее простым для человека и не требует вмешательства сложного оборудования для достижения поставленных целей.

Способность к обучению является существенным свойством для человеческого мозга. В контексте ИНС процедура обучения может расцениваться как настройка архитектуры сети и весов связей для эффективного выполнения поставленной задачи. Выбранная нейронная сеть должна правильно выстраивать веса связей по созданной обучающей выборке. Работа сети улучшается по мере итеративной настройки весовых коэффициентов. Способность сети обучаться на примерах фото и видео делает их более привлекательными по сравнению с системами, которые выполняют команды по определенной системе правил функционирования, запрограммированными экспертами.

Для правильного построения процесса обучения, прежде всего, необходимо создать модель внешней среды, по которой работает искусственная нейронная сеть - знать необходимую для сети информацию. Данная модель способна определить парадигму обучения. Также, необходимо осознавать, как можно модифицировать весовые коэффициенты сети – то есть, какие правила обучения управляют текущим процессом настройки. Алгоритм обучения подразумевает процедуру, в которой используется правила обучения для точной настройки весов.

Задачи распознавания человека по изображению лица с помощью веб-камеры делятся на две группы:

- поиск в больших базах данных;
- контроль доступа и контроль фотографий в документах.

Данные группы различаются как по условиям, предоставляемыми к системам распознавания, также и по способам решения, именно поэтому представляют собой отдельные группы.

Использование выбранной нейронной сети к изображениям требует специальных усилий, этот факт связан в первую очередь со сложным характером изображений, особенно изображений трёхмерных объектов реального мира, какими и являются лица людей в жизни. Следует отметить, что изображение должно быть обработано – привести к некоторым стандартным условиям. Кроме того, выбор изначального представления изображения является отдельной обширной темой. Двумерный характер изображения, корректировка условий освещённости, топологические искажения изображения при изменении ракурса и прочих воздействий не позволяют ограничиться простыми архитектурами нейросети для достижения поставленного результата.

Для того чтобы искусственная нейронная сеть приобрела возможность решать конкретную задачу, то есть на входной сигнал подавать соответствующий выходной сигнал, необходимо провести предварительную настройку параметров сети. Настройка производится по обучающей выборке, состоящая из пар (<вход>, <желаемый выход>) - обучающих примеров.

Система биометрической идентификации человека по лицу на основе нейронной сети должна удовлетворять общим требованиям, отражающим интересы потребителя. Основными из этих требований являются простота, удобство использования и точность.

Простота и удобство использования связаны с необходимостью освоения системы без привлечения дефицитных, высококвалифицированных специалистов.

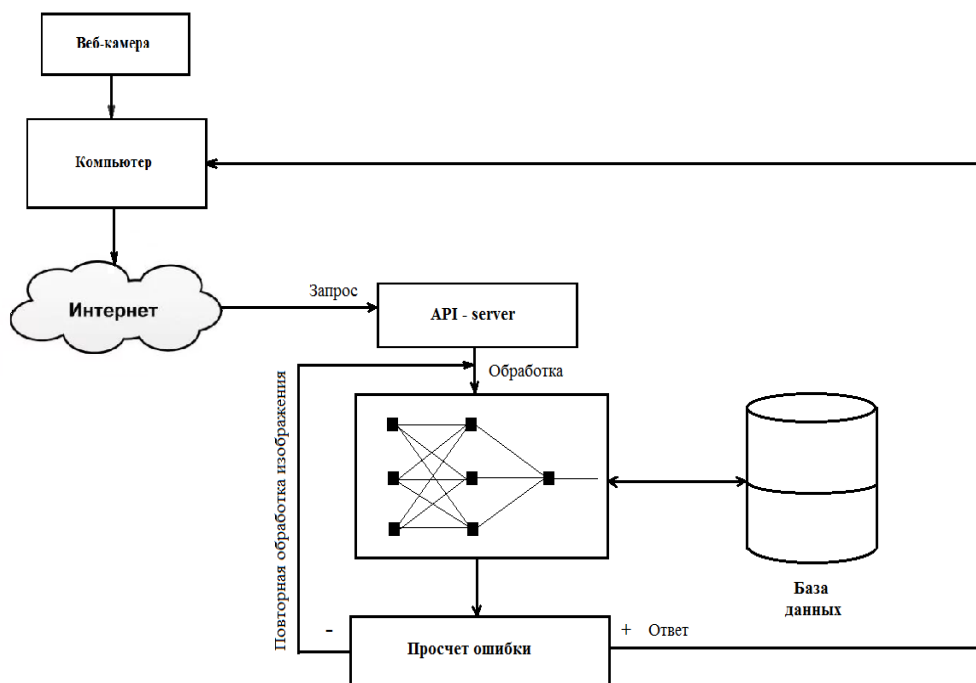


Рисунок 1 - Схема идентификации человека по лицу с использованием нейронных сетей

Обеспечение высокой точности – это своего рода отправная точка, с которой началось внедрение систем биометрической идентификации. Точность распознавания лица должна быть максимальна даже для изображений низкого качества, они должны быть устойчивы к поворотам головы и обладать высокой скоростью распознавания [1].

Система работает через камеру на относительно небольшом (десятки) количестве людей и должна стабильно отличать незнакомцев от тех, на ком она обучена. Работа над решением включает три компонента: подготовку данных, обучение нейросети и распознавание.

В ходе подготовки было записано по 245 оригинальных изображений каждого человека, которого система должна распознавать как “определённого человека”. Кадры, сделанные с разными выражениями лица и положениями головы, были приведены к общему виду (нормализованы). На базе этой информации создан набор данных для обучения нейросети с вариациями в виде искажений и цветовых фильтров. В итоге мы получили 1500-2000 образцов для тренировки сети на каждого человека. Каждый раз, когда система распознает лицо, она приводит изображение к наибольшему соответствию с образцами, на которых проходило обучение.

Было опробовано несколько вариантов нормализации имеющихся данных. Система находит черты лица: глаза, нос, подбородок и скулы, — используя классификатор Хаара. Анализируя угол между глазами, система может компенсировать поворот головы и выделить интересующую область для дальнейшего распознавания. Информация о наклоне головы в предыдущем кадре позволяет удерживать регион лица при изменении положения, поворачивая изображение с камеры на нужный угол до передачи классификатору [1].

Применение нейронной сети к изображениям требует специальных усилий, это связано в первую очередь со сложным характером изображений, особенно изображений трёхмерных

объектов реального мира, какими и являются лица людей. Изображение должно быть предобработано – приведено к некоторым стандартным условиям. Кроме того, выбор начального представления изображения (это могут быть, например, частотные коэффициенты, главные компоненты, вейвлетные коэффициенты, моменты и т.п.) является отдельной обширной темой.

Двумерный характер изображения, изменение условий освещённости, топологические искажения изображения при смене ракурса и прочих воздействиях не позволяют ограничиться простейшими архитектурами НС для достижения оптимального результата.

Как инструмент для непосредственного распознавания в данной системе используется внутренняя реализация Convolutional Neural Networks (Сверточные Нейронные Сети) — один из наиболее актуальных сейчас вариантов нейронных сетей, который уже зарекомендовал себя в классификации изображений и распознавании символов. Работа свёрточной нейронной сети обычно интерпретируется как переход от конкретных особенностей изображения к более абстрактным деталям, и далее к ещё более абстрактным деталям вплоть до выделения понятий высокого уровня. При этом сеть самонастраивается и вырабатывает сама необходимую иерархию абстрактных признаков (последовательности карт признаков), фильтруя маловажные детали и выделяя существенное.

Подобная интерпретация носит скорее метафорический или иллюстративный характер. Фактически «признаки», вырабатываемые сложной сетью, малопонятны и трудны для интерпретации настолько, что в практических системах не особенно рекомендуется пытаться понять содержания этих признаков или пытаться их «подправить», вместо этого рекомендуется усовершенствовать саму структуру и архитектуру сети, чтобы получить лучшие результаты. Так, игнорирование системой каких-то существенных явлений может говорить о том, что либо не хватает данных для обучения, либо структура сети обладает недостатками и система не может выработать эффективных признаков для данных явлений.

Но несмотря на все достоинства такой нейронной сети, применение её к изображениям требует специальных усилий. Это связано в первую очередь со сложным характером изображений, особенно изображений трёхмерных объектов реального мира, какими и являются лица людей. Изображение должно быть предобработано – приведено к некоторым стандартным условиям. Кроме того, выбор начального представления изображения (это могут быть, например, частотные коэффициенты, главные компоненты, вейвлетные коэффициенты, моменты и т.п.) является отдельной обширной темой. Двумерный характер изображения, изменение условий освещённости, топологические искажения изображения при смене ракурса и прочих воздействиях не позволяют ограничиться простейшими архитектурами НС для достижения оптимального результата [2].

В данной дипломной работе был реализован метод распознавания человеческого лица основанный на специальном интеллектуальном алгоритме Microsoft Azure, которые предоставляют своим клиентам API-server, предназначенный для обнаружения и сравнения человеческих лиц.

API распознавания лиц Azure — это когнитивная служба, предоставляющая алгоритмы для обнаружения, распознавания и анализа человеческих лиц на изображениях. Возможность обработки информации о лицах имеет важное значение в различных сценариях программного обеспечения, таких как обеспечение безопасности, анализ содержимого изображений и управление им, а также использование естественных пользовательских интерфейсов, мобильных приложений и робототехники. API может выявлять лица на изображениях и возвращать координаты прямоугольника, в котором они расположены. При необходимости функция обнаружения лиц извлекает ряд атрибутов, связанных с лицом, таких как поза, положение головы, пол и возраст.

По этому способу человек обучает биометрическую систему, предъявляя ей примеры своих фотографий. Система формирует биометрический эталон, на котором чётко определены черты лица и хранит его. В процессе аутентификации человек с помощью веб камеры предоставляет изображение своего лица, а вычислительная машина сравнивает его с

эталоном. Если эталон и предъявленная фотография близки, то делается вывод о положительной аутентификации личности.

Для правильного определения системой необходимых деталей лица человека использовался классификатор Хаара.

Основное преимущество детектора Хаара: скорость. Благодаря быстрой обработке изображения, можно с лёгкостью обрабатывать потоковое видео. Детектор Хаара используется для распознавания большинства классов объектов. К ним относятся лица и другие части тела людей, номера автомобилей, пешеходы, дорожные знаки, животные и т.д. Детектор Хаара реализован в библиотеке OpenCV. Это даёт огромное преимущество, так как готовые реализации OpenCV есть под большинство существующих операционных систем (Android, Windows, Linux, ios).

Классификатор формируется путём расчёта значений признаков. Для обучения на вход классификатора сначала подаётся набор «правильных» изображений с предварительно выделенной областью на изображении, дальше происходит перебор примитивов и расчёт значения признака. Вычисленные значения сохраняются в файле в формате xml.

Основными преимуществами разработанной сети являются инвариантность к небольшим смещениям и то, что в процессе обучения нейронная сеть извлекает набор характерных черт (feature maps) для каждого класса, сохраняя их относительное расположение в пространстве. Также при необходимости можно менять архитектуру сверточной сети, контролируя количество слоёв, их размеры и количество карт с характерными чертами для каждого слоя.

Настройка данной нейронной сети для решения определённой задачи производится в процессе обучения на наборе тренировочных примеров. Таким образом, не требуется вручную определять параметры модели (выбирать ключевые признаки, учитывать их взаимоотношение и т.п.) – НС извлекает параметры модели автоматически наилучшим образом в процессе обучения.

Для того, чтобы видеть влияние этих параметров на работу сети, использовался Debug-вывод изображений, формируемых при распознавании. Это направление можно расширить, применив De-Convolutional Neural Network — технику, которая позволяет визуализировать вклад разных частей входного изображения в карты характерных черт.

Разработанный прототип системы распознавания лиц обучен на распознавание "неизвестных" для системы лиц, подсчёт лиц изображённых на фотографии, а также правильную идентификацию человека, изображения которого занесены в базу данных.

В качестве обучающего сета "неизвестных" была использована база данных Labeled Faces in the Wild, а также 6 сетов лиц сотрудников. Тестирование проводилось с использованием камеры D-Link DCS 2230 с расстояния 1-4м.

По результатам тестирования, при хорошем освещении нейронная сеть способна правильно определять границы лица, также точное распознавание черт лица человека и количество людей, изображённых на фотографии.

Однако нейронная сеть осталась чувствительной к изменениям направления освещения и общему понижению освещённости. Для более продуктивной компенсации освещения поможет метод, который выравнивает яркость и контраст, находит усреднённую гистограмму по набору данных и применяет ее к каждому изображению индивидуально (включая изображение, используемое для распознавания)[2].

Перечень ссылок

1. Галушкин А.Н. «О современных направлениях развития нейрокомпьютеров» Информационные технологии №5 / С. Клименко, В. Уразметов. Internet - среда обитания информационного общества. РЦФТИ, Протвино, 1995, - 328 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ ТОПЛИВО-ВОЗДУХ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ПРОКАТНОГО СТАНА

Бондарь Е.С., магистрант.; Чернышев Н.Н., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Методические печи работают в условиях, далеких от установившихся: меняется производительность печи, определяемая работой прокатного стана и соседних печей, изменяется температура, размеры, марка загружаемого металла. Поэтому основной задачей управления процессом нагрева является выработка такого температурного режима печи, чтобы все время получать заданное качества нагрева в условиях переменной производительности агрегата с учетом других возмущений. Управляющим воздействием является расход топлива на зону, определяющий температуру в ней

В настоящее время известны способы автоматического поддержания соотношения расходов топлива и воздуха с помощью [1]:

1. Регуляторов соотношения непрерывного действия, основанных на пропорциональных изменениях расходов топлива и воздуха, а также с помощью применения механической и электрической жесткой связи регулирующих органов на трубопроводах топлива и воздуха.

2. Экстремальное регулирование - оптимизаторов, осуществляющий автоматический поиск максимума температуры горения.

3. Системы автоматического регулирования на основании газоанализаторов по результатам анализа продуктов горения.

Автоматическое поддержание заданного соотношения «топливо-воздух» в методических печах осуществляется с помощью регуляторов соотношения. Где предусматривается возможность быстрого изменения коэффициента расхода воздуха, что особенно важно, когда таким способом достигается равномерный нагрев садки.

Структурная схема такой системы приведена на рис.1

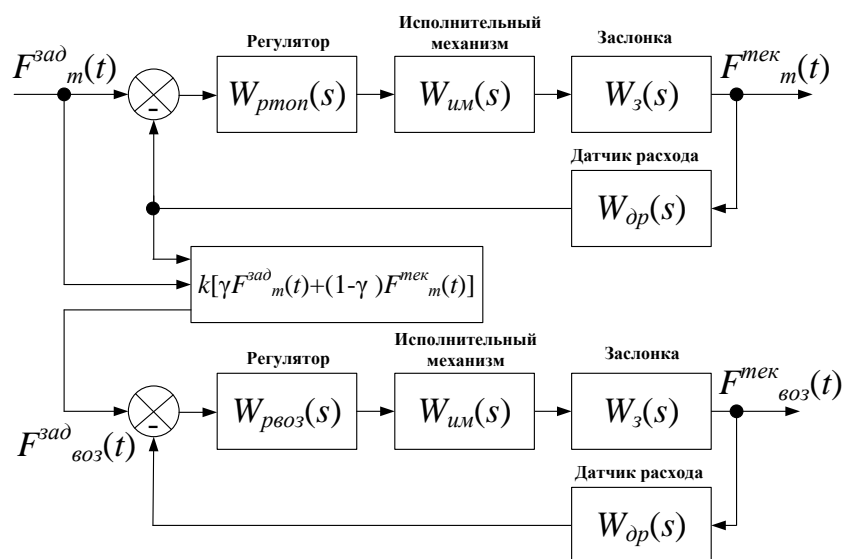


Рисунок 1 - Структурная схема системы автоматического регулирования соотношения «топливо-воздух»

Регулятор топлива поддерживает выходную величину равной значению уставки. Значение уставки подачи воздуха регулятора пропорционально регулируемой величине

расхода топлива. Сигнал желательно брать именно с выхода системы, это повышает точность, поскольку $F_m^{зад}(t)$ отличается от $F_m^{тек}(t)$ на величину погрешности, которая в динамике может быть значительной.

Методические печи можно охарактеризовать как динамические объекты управления с монотонной апериодической переходной характеристикой, с запаздыванием и с большой инерционностью.

Для регулирования соотношения «топливо-воздух» в рабочем пространстве методической нагревательной печи применили ПИ-регуляторы для изменения расхода топлива и воздуха при изменении заданного значения.

На основании полученных математических соотношений построена модель системы автоматического управления соотношением «топливо-воздух» в рабочем пространстве методической печи в SIMULINK (рис. 2-4).



Рисунок 2 – Схема моделирования замкнутой САУ соотношением «топливо-воздух» в рабочем пространстве печи

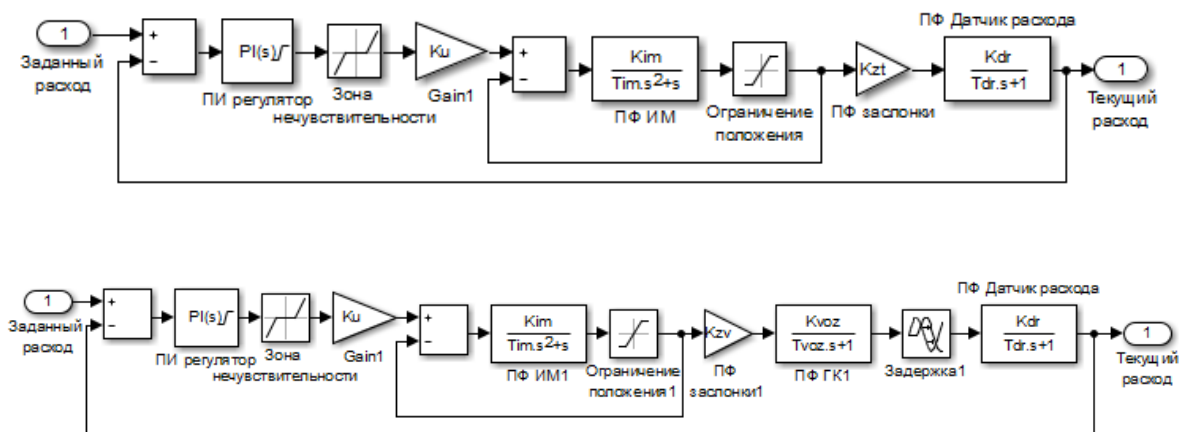


Рисунок 3 – Структурная схема системы автоматического управления расходом топлива и воздуха

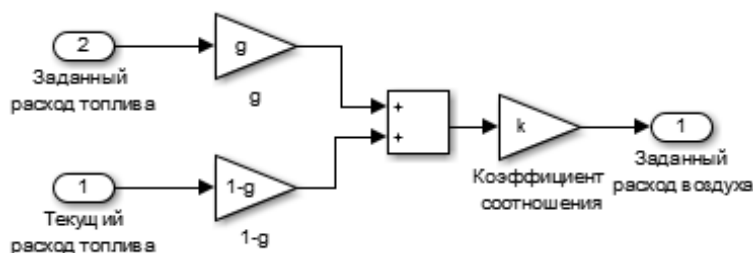


Рисунок 4 – Структурная схема блока расчета соотношения

Коэффициенты ПИ-регуляторов рассчитаны с учетом отклика на изменение уставки. В результате параметры регуляторов равны: регулятор расхода топлива $k_p=0,6$ и $k_i=4,56$; регулятор расхода воздуха $k_p=0,1$ и $k_i=0,56$.

Анализ исследования переходных процессов в САУ соотношением «топливо-воздух» в рабочем пространстве методической печи показал нижеприведенные результаты.

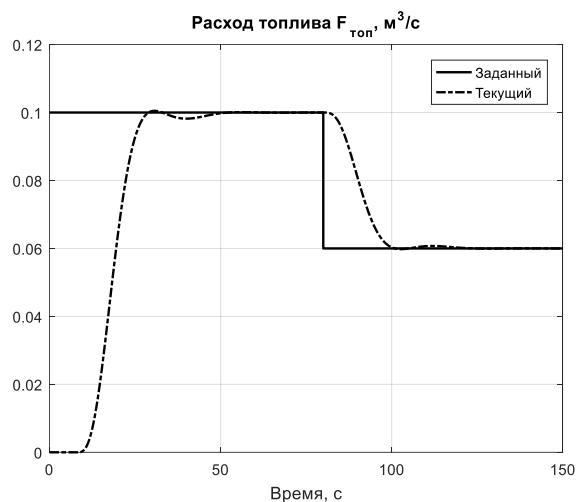


Рисунок 5 - Переходная характеристика расхода топлива

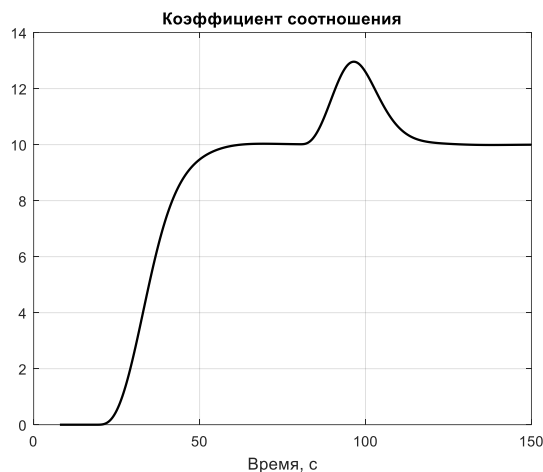


Рисунок 6 - Переходная характеристика коэффициента соотношения

Анализ графиков переходных процессов (рис. 5 и 6) показывает, что система поддерживает заданный коэффициент соотношения, что позволяет эффективно вести процесс сжигания топлива.

Выводы.

В статье была рассмотрена структурная схема системы автоматического регулирования соотношения «топливо-воздух» методической печи, а в качестве закона регулирования был выбран ПИ-регулятор. Настройка регуляторов выполнялась с помощью метода CHR. Моделирование системы выполнено в пакете программного обеспечения Matlab и Simulink.

Система обрабатывает внешние возмущения и сигнал задания с показателями качества переходных процессов в соответствии с требованиями технологического регламента.

Перечень ссылок

1. Логачев, М.В. Расчеты нагревательных устройств: учебно-метод. пособие для студентов специальностей 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением», 1-36 01 02 «Материаловедение в машиностроении». В 3 ч. Ч. 1. Расчет пламенных печей / М.В. Логачев, Н.И. Иваницкий, Л.М. Давидович. - Мн.: БНТУ, 2007. - 160 с.
2. Панферов, В.И. Методы контроля температуры металла в АСУ ТП методических печей / В.И. Панферов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 10. – С. 57 – 61.
3. Арутюнов, В.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей: учеб. пособ. / В.А.Арутюнов, В.В. Бухмиров. – М.:Металлургия, 1990. – 293 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБЪЕМА ВЕЩЕСТВА В КУПАЖНОМ БАКЕ

¹Мерзликин Д.А., магистрант; ²Волуева О.С., ст. преп.

¹(ФГБОУВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г.Новочеркасск, РФ)

²(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР»)

Введение.

В настоящее время производство соков делится на два вида: сок прямого отжима и восстановленный сок. Соки прямого отжима имеют срок годности не более 3 месяцев, кроме того, затраты на производство и хранение таких соков высоки. В связи с этим, производители отдают предпочтение производству концентратов и последующему восстановлению из них соков. Концентрат – это натуральный сок, из которого принудительно изъяли большую часть воды. Концентрированный сок более удобен в хранении и транспортировке, а срок хранения значительно увеличивается. Для создания восстановленных соков необходимо вернуть то же количество воды, которое было изъято из натурального сока при производстве концентрата. Если при изъятии воды были выпарены дополнительные вещества, то их так же возвращают вместе с водой. Таким образом, производственный процесс восстановления соков из концентратов является востребованным в настоящее время, и, следовательно, создание систем управления данным процессом так же является актуальной задачей.

Краткое описание проблемы.

Структурная схема двухконтурной системы управления концентрацией сухого вещества в конечном продукте при возврате воды в концентрат представлена на рис. 1. Поскольку для обеспечения требуемого качества перемешивания необходимо поддерживать заданный уровень сока в купажном баке, в представленную систему необходимо ввести соответствующий контур регулирования уровня.

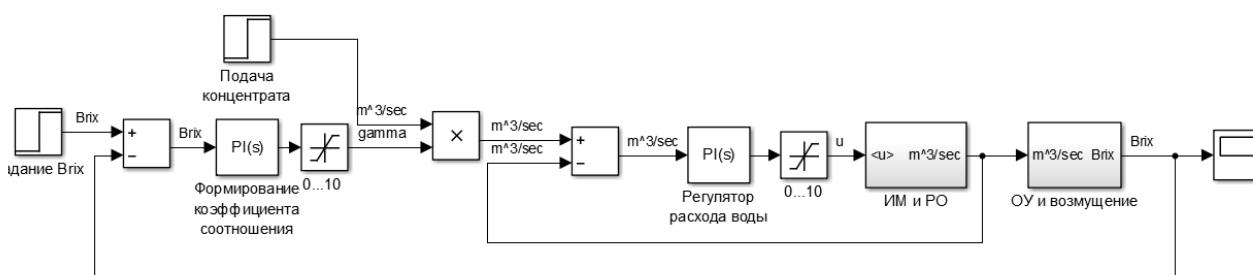


Рисунок 1 - Модель двухконтурной системы управления

Для определения точного значения потока вещества, поступающего в бак для смешивания, в модели необходимо выполнять суммирование значение потока концентрата и потока воды. В существующей системе данное действие будет выполнять датчик уровня жидкости. Такой датчик определяет значение уровня жидкости в баке, и полученные им данные значения считываются программируемым логическим контроллером. Далее необходимо выбрать тип закона регулирования.

Выбор регулятора.

На основе анализа существующих принципов управления, выбор производится между управлением с помощью позиционного регулятора либо с помощью ПИД-регулятора. Наглядно различие между выходными величинами этих регуляторов продемонстрировано на рис. 2.

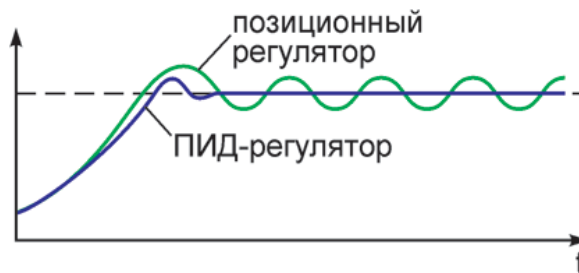


Рисунок 2 - Сравнение позиционного и ПИД-регулятора

Достоинствами позиционного регулятора являются: простота в использовании, подключении и настройке, быстрое достижение заданной величины. Недостатки: автоколебания в установившемся режиме, постоянное включение и выключение исполнительного механизма. Достоинствами ПИД-регулятора являются: высокое качество регулирования, в установившемся режиме выходное значение не меняется. Недостатки: сложность подключения и настройки коэффициентов ПИД-регулятора.

Структурная схема моделирования для регулирования объема жидкости с использованием позиционного регулятора представлена на рис. 3. При этом входной величиной является значение потока, поступающего в купажный бак, далее сигнал сравнивается с сигналом регулятора и сигнал рассогласования поступает на интегратор для получения объема жидкости из потока. По обратной связи, с помощью датчика уровня жидкости, сигнал уровня поступает на регулятор. Позиционный регулятор формирует два значения «1» или «0», соответственно открыть или закрыть клапан. Управляющий сигнал поступает на модель исполнительного механизма и регулирующего органа. Результаты моделирования представлены на рис.5-а.

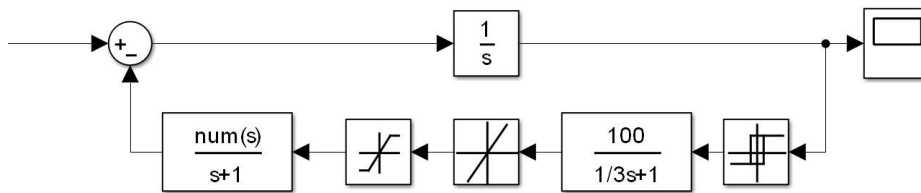


Рисунок 3 - Структурная схема моделирования для регулирования объема жидкости с использованием позиционного регулятора

Структурная схема моделирования для регулирования объема жидкости на основе ПИД-регулятора представлена на рис. 4. В модели ПИД-регулятора входной величиной является требуемое значение в установившемся режиме. Формируемый ПИД-регулятором сигнал поступает на модель исполнительного механизма и регулирующего органа, и суммируется с потоком, поступающим в купажный бак. Полученное значение интегрируется для вычисления объема из потока вещества. Выходной сигнал представлен на рис. 5-б.

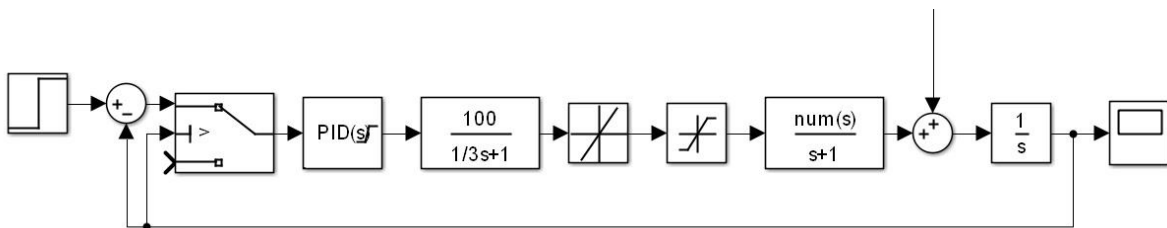


Рисунок 4 - Структурная схема моделирования для регулирования объема жидкости на основе ПИД-регулятора

На основе результатов моделирования (рис. 5), можно сделать следующие выводы. Для достижения заданной величины потребовалось одинаковое время, так как при запуске процесса бак заполняется и клапан на выходной трубе закрыт. В модели с позиционным регулированием в установившемся режиме присутствуют автоколебания, поскольку клапан

постоянно открывается, когда выходное значение больше заданного, и закрывается – если меньше. В модели с использованием ПИД-регулятора изменяется процент открытия клапана до такого значения, при котором значение поступающей жидкости равно значению убывающей жидкости.

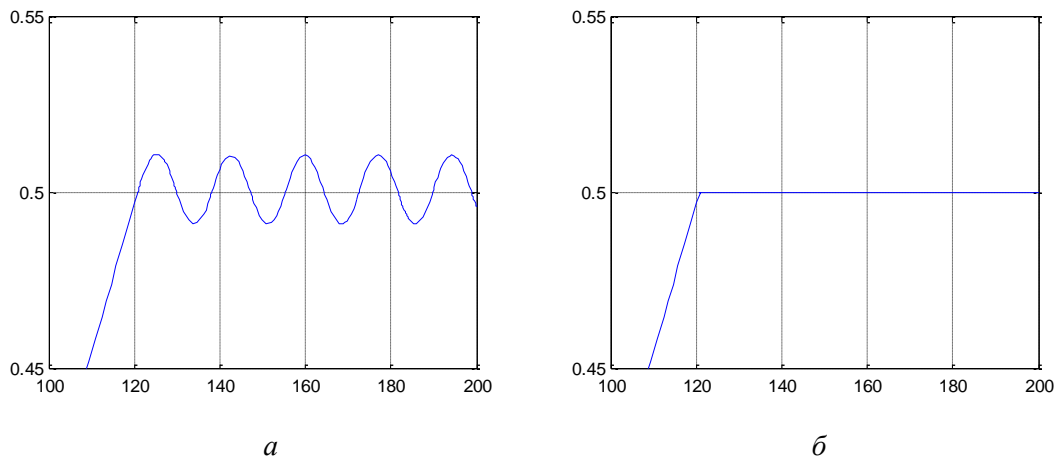


Рисунок 5 - Сравнение выходных сигналов регуляторов: а – позиционного; б - ПИД-регулятора

Исходя из проведенного исследования двух регуляторов, выбор сделан в пользу структуры регулирования на основе ПИД-регулятора. Несмотря на простоту настройки и использования позиционного регулятора, при его работе в установившемся режиме исполнительный механизм и регулирующий орган будут работать постоянно, что может значительно ускорить износ данных элементов. В то время как сложность настройки ПИД-регулятора сказывается только при разработке, при работе с данным регулятором необходимо регулировать только заданное значение объема жидкости в баке. Результирующая структурная схема системы автоматического управления (САУ) возврата воды с учетом контура регулирования объема жидкости представлена на рис. 6.

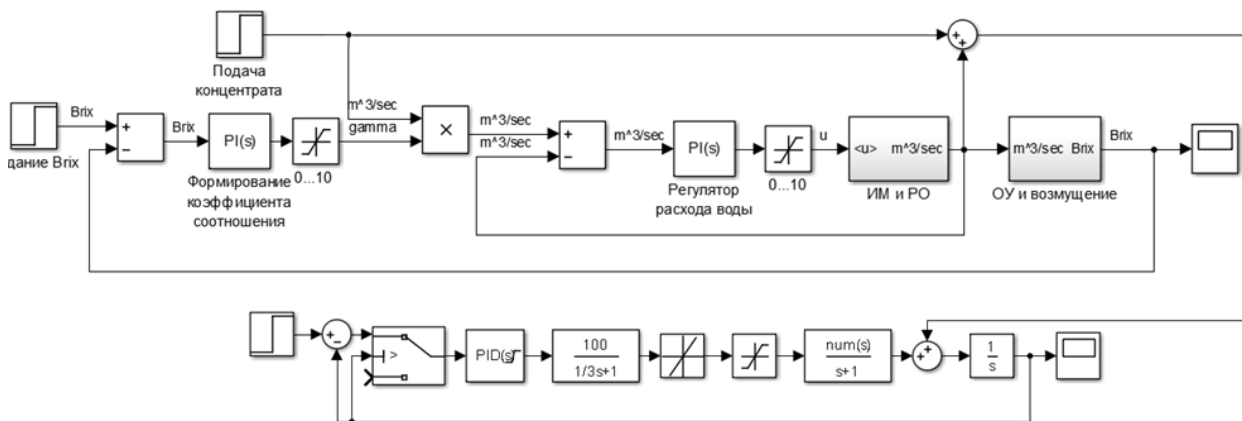


Рисунок 6 - Структурная схема моделирования САУ возврата воды

Выводы.

1. Рассмотрено два принципа регулирования объема жидкости в купажном баке: на основе позиционного регулятора и ПИД-регулятора, выполнен анализ их достоинств и недостатков.

2. Выполнено моделирование САУ с использованием двух регуляторов. На основе сравнения результатов моделирования, а также достоинств и недостатков, в качестве регулятора объема вещества в купажном баке выбран ПИД-регулятор.

Перечень ссылок

1. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием // В.В. Денисенко. – Москва: Телеком, 2009. – 608 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПАСТЕРИЗАЦИИ ПИВА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

Цуканов В.В., студ.; Волуева О.С., ст. преп.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Введение.

Пиво - это напиток, полученный из проросших и непроросших зерновых культур спиртовым брожением охмеленного суслу пивными дрожжами. Обладает тонизирующими свойствами, утоляет жажду, улучшает обмен веществ. Однако, с течением времени в пиве развиваются различные микроорганизмы (дрожжеподобные грибы; молочнокислые, уксуснокислые и пивные бактерии, дикие дрожжи и т.д.), вызывающие не только помутнение, но и недопустимые изменения его вкуса и запаха. В результате продукт становится непригодным для употребления и реализации. Основным способом борьбы с неконтролируемым развитием вредоносных микроорганизмов является пастеризация - однократное нагревание жидкостей (в основном пищевых продуктов) до температуры ниже температуры кипения на непродолжительное время (от секунды до 30 минут), с целью уничтожения бактерий, находящихся в этих жидкостях. Таким образом, пастеризованное пиво имеет длительный срок хранения. Пастеризация всегда сопровождается изменением химического состава пива, его окраски, вкуса и аромата. Степень изменений зависит от температуры, продолжительности выдержки и хранения пастеризованного пива.

Целью работы является повышение эффективности процесса пастеризации пива в потоке за счет разработки системы автоматического управления (САУ) поточным пастеризатором, что позволит повысить качество и биологическую устойчивость пива.

Описание технологического процесса.

При производстве пива чаще всего применяют пастеризацию в потоке и пастеризацию в туннельных пастеризаторах [1,2].

Пастеризация в потоке предъявляет серьезные требования к чистоте бутылок и технологическому оборудованию линии розлива. Несмотря на это, данный тип пастеризации является более предпочтительным по сравнению с туннельными пастеризаторами, которые обладают рядом существенных недостатков:

- туннельный пастеризатор в цехе розлива занимает очень много места, так как на прохождение всего пути, бутылкам необходимо около часа;

- установка для туннельной пастеризации требует существенных инвестиционных затрат и потребляет достаточно большое количество энергии – 70-120 МДж/1000 бутылок или 14-24 МДж/гЛ;

- невозможность равномерно нагреть пиво в бутылке;

- необходимо реализовать контроль и измерения температуры в определенной точке (на расстоянии около 15 мм от центра дна бутылки);

- в процессе пастеризации в бутылке возникает достаточно высокое давление, поэтому пустое пространство в бутылке при туннельной пастеризации не должно быть менее 5% от общего объема бутылки – в противном случае давление в бутылке может ее разорвать.

Таким образом, в данной работе в качестве объекта автоматизации рассматривается процесс пастеризации пива в потоке.

Основной частью поточных пастеризаторов является трехсекционный пластинчатый теплообменник, включающий рекуперационную секцию, секцию пастеризации и секцию охлаждения (гликолевую секцию), каждая из которых состоит из пакетов пластин, через которые последовательно проходят теплообменивающие жидкости [2,5]. Технологическая схема процесса пастеризации в потоке представлена на рис.1.

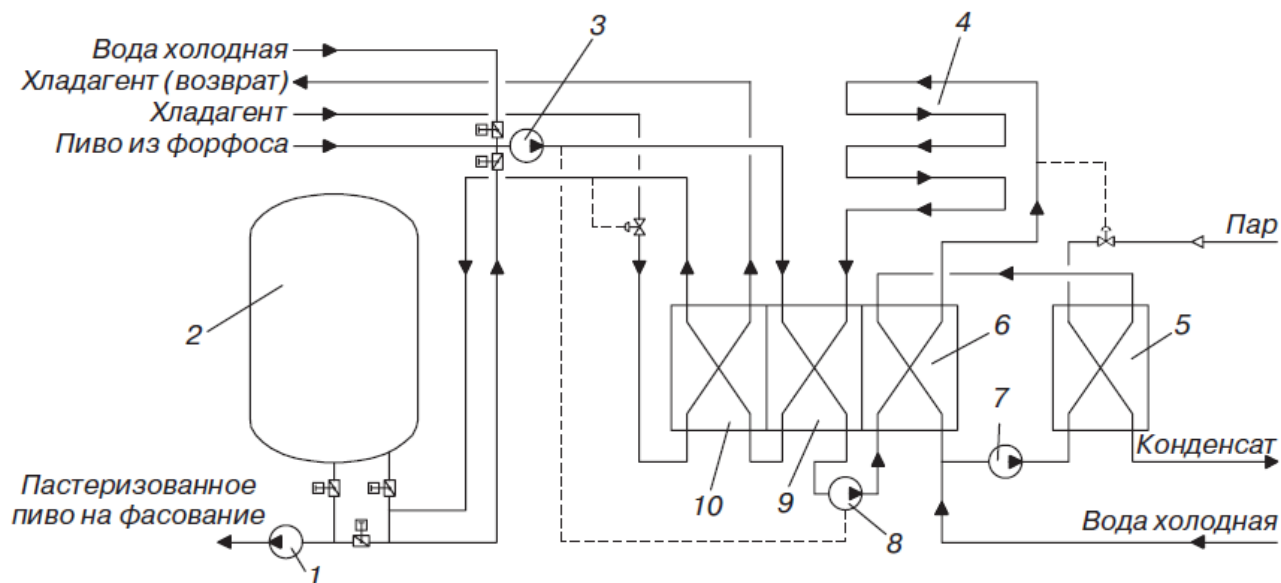


Рисунок 1 – Технологическая схема процесса пастеризации в потоке (поточного пастеризатора)

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: 1 – насос пастеризованного пива; 2 – буферный сборник; 3 – насос непастеризованного пива; 4 – выдерживатель (лежак); 5 – теплообменник; 6 – секция пастеризации; 7 – циркуляционный насос подпиточной воды; 8 – насос промежуточный; 9 – рекуперационная секция; 10 – секция охлаждения.

Исходное холодное пиво с температурой 1-2°C под давлением 0,65 МПа поступает из форфоса и подается насосом 3 в рекуперационную секцию 9, в которой оно нагревается до 61–63 °С горячим пастеризованным пивом, протекающим противотоком с другой стороны пластин (рис.1.1). В следующей, секции пастеризации 6, поточного пастеризатора пиво с температурой 61–63°C, подаваемое промежуточным насосом 8, нагревают до температуры 68–72°C (как правило, $70 \pm 2^\circ\text{C}$) горячей водой, нагретой до температуры 78–82°C паром в отдельном теплообменнике 5 и циркулирующей в замкнутом контуре с помощью насоса 7. Потери воды в циркуляционном контуре компенсируются за счет подпитки холодной воды (рис.1.1) [2,5].

Иногда вместо отдельного теплообменника используют дополнительную (четвертую) паровую секцию пластинчатого теплообменника, отличающуюся конструкцией пластин, предназначенных для пара.

Далее нагретое пиво поступает в выдерживатель (лежак) 4, в котором оно в течение 30–50 с выдерживается при температуре пастеризации. После этого, пастеризованное пиво возвращают в смежную систему каналов рекуперационной секции 9, где оно предварительно охлаждается исходным холодным пивом до температуры 10–12°C, а затем подают в секцию охлаждения 10 для последующего, более глубокого, охлаждения до температуры 1–2 °С хладагентом (как правило, гликолем) с температурой -5 °С.

Охлажденное пастеризованное пиво накапливается в буферном сборнике 2, из которого поступает на фасовочную машину. Вместимость буферного сборника рассчитывают исходя из условия, что объем пастеризованного напитка в нем должен обеспечить 20–30 мин работы фасовочной машины [2,5].

Благодаря перекрещиванию потоков холодного и горячего пива можно возвращать (рекуперировать) до 94% затрачиваемой энергии. Приведенные преимущества данного способа способствуют его успешному широкому распространению при производстве пива.

Чем больше температура пастеризуемого продукта, тем меньше времени требуется для уничтожения микроорганизмов. Исходя из этого, была условно принята величина, которая показывает интенсивность тепловой обработки (пастеризации) пива в пастеризационных

единицах (ПЕ). ПЕ – это мера биологического эффекта от тепловой обработки пива, получаемого при воздействии температуры 60°C в течении 60 с, которая может быть определена по формуле:

$$ПЕ = \tau \cdot 1,393^{(t_{п} - 60)} \quad (1)$$

где τ – время пастеризации;

$t_{пп}$ – температура пастеризации.

Требуемое значение величины ПЕ при пастеризации пива зависит, в первую очередь, от уровня инфицирования пива. Чем большее количество микроорганизмов содержится в обрабатываемом пиве, тем выше необходимое значение величины ПЕ. Чем меньше ПЕ применяется при тепловой обработке пива, тем лучше его качественные и вкусовые свойства, но, с другой стороны, тем ближе подходят к границе, после которой могут выживать микроорганизмы. Для того, чтобы избежать снижения качества пива, температурный режим при пастеризации в потоке должен очень тщательно контролироваться и регулироваться [4,5]. При пастеризации пива в потоке, необходимая величина ПЕ составляет 14-15.

Анализ процесса как объекта управления.

На основе анализа технологического процесса пастеризации пива в потоке и особенностей функционирования пастеризатора, получена схема его материальных потоков, представленная на рис. 2. Данная схема показывает, что в процессе функционирования поточного пастеризатора входные материальные потоки – исходное пиво, горячая вода и хладагент, взаимодействуя между собой, превращаются в его выходные материальные потоки – пастеризованное пиво, охлажденную воду и нагретый хладагент.

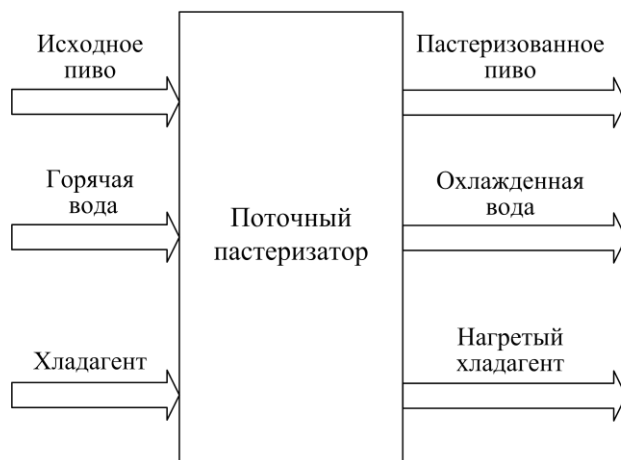


Рисунок 2 – Схема материальных потоков поточного пастеризатора пива

С учетом схемы материальных потоков объекта управления (рис.2) и технологических требований к параметрам пастеризации, получена схема информационных переменных поточного пастеризатора пива (рис. 3), что позволяет определить переменные и воздействия данного объекта управления.

Основными управляемыми переменными рассматриваемого поточного пастеризатора пива, которые полностью характеризуют процесс пастеризации в потоке, являются (рис.3):

– температура пива на выходе секции пастеризации (на входе выдерживателя или лежака) $t_{пп}$;

– температура пива на выходе секции охлаждения $t_{по}$.

Для достижения требуемого значения, поддержания или необходимого изменения управляемых переменных ($t_{пп}$, $t_{по}$) в разрабатываемой САУ процессом пастеризации в потоке, как следует из рисунка 3, применяются следующие управляющие воздействия:

- расход горячей воды $F_{ГВ}$, подаваемой в секцию пастеризации и позволяющий требуемым образом нагревать пиво до необходимой температуры;
- расход хладагента $F_{ХЛ}$, подаваемого в секцию охлаждения и позволяющий требуемым образом охладить пиво до необходимой температуры.

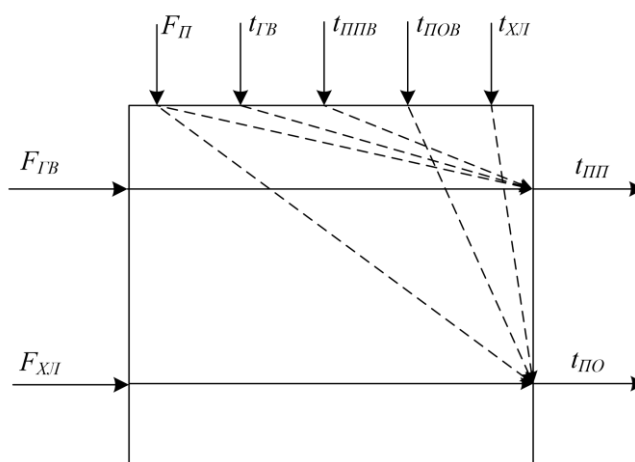


Рисунок 3 – Схема взаимосвязи между информационными переменными поточного пастеризатора пива

Требуемое изменение управляющих воздействий – расход горячей воды $F_{ГВ}$ и расхода хладагента $F_{ХЛ}$ осуществляется за счет применения регулирующих органов с исполнительными механизмами – различных регулирующих клапанов и задвижек с управляемыми электроприводами, которые устанавливаются на трубопроводах подачи горячей воды и хладагента (рис.1).

Кроме управляющих воздействий ($F_{ГВ}$ и $F_{ХЛ}$), на управляемые переменные – температуру пива на выходе секции пастеризации $t_{ПП}$ и температуру пива на выходе секции охлаждения $t_{ПО}$ оказывают влияние следующие возмущающие воздействия (рис.3):

- расход пива, подаваемого на пастеризацию $F_{П}$;
- температура горячей воды $t_{ГВ}$, подаваемой в секцию пастеризации;
- температура пива на входе в секцию пастеризации $t_{ППВ}$;
- температура хладагента $t_{ХЛ}$, подаваемого в секцию охлаждения;
- температура пива на входе секции охлаждения $t_{ПОВ}$.

Основным возмущающим воздействием, которое оказывает непосредственное влияние на обе управляемые переменные – температуру пива на выходе секции пастеризации $t_{ПП}$ и температуру пива на выходе секции охлаждения $t_{ПО}$ является расход пива, подаваемого на пастеризацию $F_{П}$. В целом, как показывает анализ, данное возмущающее воздействие оказывает влияние не только на указанные отдельные управляемые переменные ($t_{ПП}$, $t_{ПО}$), а и на весь процесс пастеризации в потоке в целом. Эта особенность должна быть обязательно учтена при разработке САУ поточным пастеризатором.

Возмущающими воздействиями, которые оказывают влияние только на температуру пива на выходе секции пастеризации $t_{ПП}$ являются температура пива на входе в секцию пастеризации $t_{ППВ}$ и температура горячей воды $t_{ГВ}$, подаваемой в секцию пастеризации, которые могут не контролировано изменяться в достаточно широких пределах.

Возмущающими воздействиями, которые оказывают влияние только на температуру пива на выходе секции охлаждения $t_{ПО}$ являются температура пива на входе в секцию охлаждения $t_{ПОВ}$ и температура хладагента $t_{ХЛ}$, подаваемого в секцию охлаждения, которые могут не контролировано изменяться в достаточно широких пределах.

Анализ состояния вопроса автоматизации.

В результате анализа состояния вопроса автоматизации рассматриваемого процесса установлены следующие особенности.

Достаточно большое количество существующих решений в области процесса пастеризации относятся к другим технологическим объектам (пастеризации кваса, безалкогольных напитков, молочных продуктов и т.п. Несмотря на некоторое сходство, эти процессы отличаются как друг от друга, так и от рассматриваемого процесса пастеризации пива в потоке. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев, система автоматического управления является встроенной в установку пастеризации, и поэтому детальная информация о структуре, функциях и элементной базе САУ отсутствует. Достаточно часто функции автоматического контроля и управления процессом пастеризации реализуются не отдельной САУ, а в упрощенном виде в составе общей системы автоматизации производства пива. Такой подход приводит к снижению эффективности рассматриваемого процесса пастеризации пива в потоке.

В большинстве случаев при автоматическом управлении процессом пастеризации в потоке применяются индивидуальные разработки и проекты САУ для данной конкретной пастеризационной установки в условиях того или иного предприятия. В применяемых САУ процессом пастеризации отсутствуют типовые, стандартные, унифицированные решения по автоматизации, в том числе и для поточных пастеризаторов пива. Техническая реализация САУ и АСУТП процессами пастеризации в существующих системах выполнена на элементной базе различных производителей.

Таким образом, существующие разработки, проекты и действующие системы автоматического управления процессом пастеризации пива в потоке не позволяют получить необходимого качества управления данным объектом. Поэтому разработка системы автоматического управления процессом пастеризации пива в потоке на основе современных подходов к синтезу систем управления и средств промышленной автоматизации (программируемых логических контроллеров, датчиков и исполнительных механизмов) в настоящее время является актуальной задачей.

Выводы.

1. Рассмотрен технологический процесс пастеризации пива в потоке. Выполнен анализ данного процесса с точки зрения материально-информационных взаимосвязей и как объекта автоматического управления.

2. Определены входные, выходные, а также возмущающие воздействия. На основании проведенного анализа осуществлена формализация объекта управления – поточного пастеризатора пива.

3. Выполнен анализ существующих решений, на основании которого выявлено, что они не выполняют всех необходимых функций по контролю и управлению параметрами рассматриваемого объекта.

Перечень ссылок

1. Балашов, В.Е. Технологическое оборудование предприятий пивоваренного и безалкогольного производств / В.Е. Балашов, Б.Н. Федоренко. – М.: Колос, 1994. – 384 с.

2. Ермолаева, Г.А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков / Г.А. Ермолаева, Р.А. Колчева. – М.: ИРПО; Изд. центр Академия, 2000. – 416 с.

3. Балашов, В.Е. Практикум по расчетам технологического оборудования предприятий для производства пива и безалкогольных напитков / В.Е. Балашов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 188 с.

4. Тихомиров, В.Г. Технология пивоваренного и безалкогольного производств / В.Г. Тихомиров. – М.: Колос, 1998. – 447 с.

5. Машины и аппараты пищевых производств: в 2 кн.: учеб. для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НАГНЕТАЮЩЕГО НАСОСА НА ВОДОПРОВОДНОМ УЗЛЕ

Горбунов Р.И., магистрант; Чернышев Н.Н., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Введение

Жилищно-коммунальное хозяйство – один из важных комплексов отраслей экономики, обеспечивающий функционирование жилых зданий, создающих безопасное, удобное и комфортабельное проживание и нахождение в них людей. Автоматизация технологических процессов жилищно-коммунального хозяйства играет важную роль в снижении экономических расходов, а также в повышении надежности и бесперебойной работы всех систем снабжения потребителей. Водопроводная система, как часть жилищно-коммунального хозяйства, требует внедрения систем автоматического управления (САУ) с применением современного высокотехнологичного оборудования.

Водопроводный узел является важнейшим элементом водопроводной системы. Он служит для передачи воды от входящих магистральных водоводов к нисходящим потребительским путем нагнетания водяного давления и его распределения между нисходящими водоводами.

Анализ водопроводного узла как объекта автоматического управления показал, что водопроводный узел – это сложная многоконтурная система, состоящая из таких основных элементов (рис. 1), как:

- входные водоводы, по которым вода поступает на объект;
- резервуары хранения очищенной воды;
- нагнетающие насосы, которые создают общее выходное давление;
- выходные водоводы, с помощью которых вода поставляется потребителям, распределенным по всей территории района.

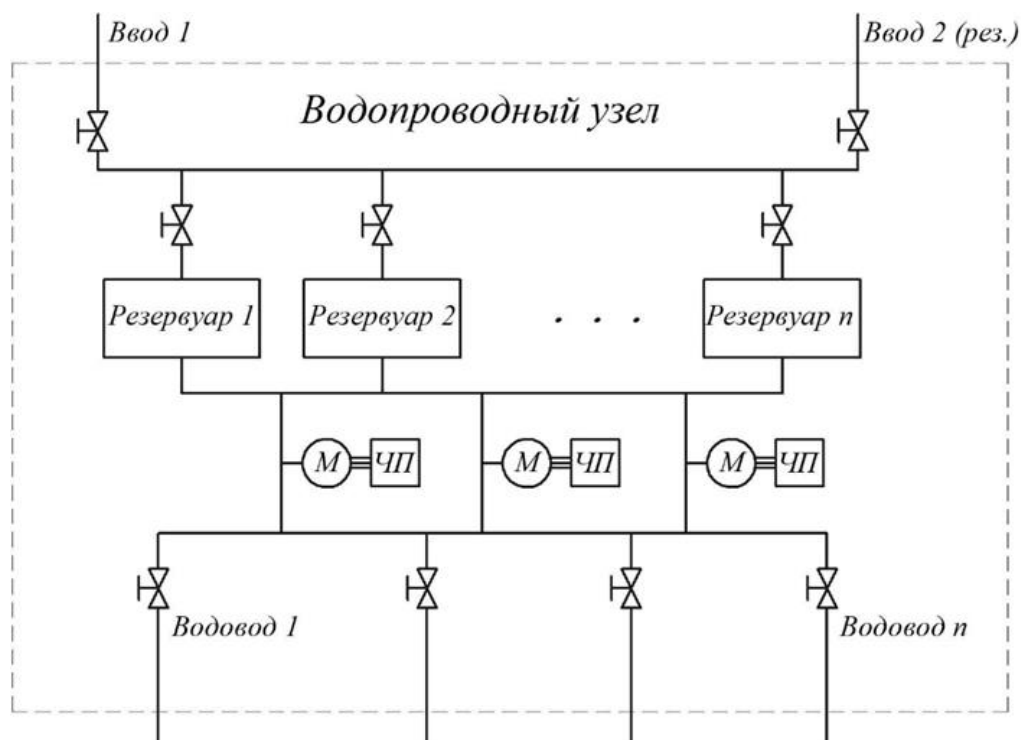


Рисунок 1 - Типовая функциональная схема водопроводного узла

Для нагнетания необходимого уровня выходного давления воды из резервуаров в системе водопроводного узла используется ряд насосных агрегатов. Зачастую они являются основным потребителем электрической энергии на водопроводном узле (до 70% от общей потребляемой мощности), а, следовательно, требуют особого внимания с точки зрения повышения энергоэффективности разрабатываемой системы. Усовершенствование существующих методов управления и разработка новых экономичных систем управления насосными приводами является актуальной областью развития промышленных систем автоматизации.

Возможные методы повышения энергоэффективности насосных агрегатов

Асинхронный двигатель (АД) переменного тока с короткозамкнутым ротором на данный момент является наиболее популярным для приведения в действие центробежного насоса. Асинхронный двигатель и насос образуют вместе насосный агрегат. Комплекс оборудования, который обеспечивает работу насосного агрегата в требуемом режиме, называется насосной установкой. Насосная установка состоит из одного или нескольких насосных агрегатов, соединительных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры, а также из контрольно-измерительной, защитной и управляющей аппаратуры [1].

Существуют различные варианты управления скоростью вращения асинхронного двигателя: реостатный, импульсный, амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый, метод введения добавочной э.д.с., включение в цепь питания статора реакторов, включение в цепь питания статора реакторов, переключение обмоток со схемы «звезда» на схему «треугольник» в процессе пуска двигателя и т.д. Однако все эти методы имели ряд существенных недостатков, что привело к использованию частотного способа управления. Включение двигателя осуществляется через частотный преобразователь, который управляет скоростью вращения двигателя, изменяя частоту питающего напряжения [2]. Это в свою очередь приводит к изменению частоты вращения поля статора.

Частотное управление, в сравнении с остальными методами, позволяет достичь ряда преимуществ, таких как:

- плавный пуск и остановка электропривода;
- плавная работа двигателя в широком диапазоне частот;
- высокая точность и плавность регулирования скорости вращения;
- значительное снижение энергопотребления электродвигателя;
- быстрое устранение ошибок при отклонении управляющих сигналов и помех;
- защита электродвигателя от перегрузок, что позволит увеличить срок его эксплуатации.

Основными методами, которые используются в частотных преобразователях, являются метод скалярного и векторного управления. Скалярное частотное управление - метод управления асинхронным электродвигателем переменного тока, который заключается в том, чтобы поддерживать постоянным во всем рабочем диапазоне скоростей соотношение:

$$U / f = const$$

При скалярном управлении контролируется только величина и частота питающего напряжения. При увеличении скорости напряжение питания статора так же должно пропорционально увеличиваться. Однако синхронная частота асинхронного двигателя не равна частоте вращения вала, а скольжение асинхронного двигателя зависит от нагрузки. Таким образом система контроля со скалярным управлением без обратной связи не может точно контролировать скорость при наличии нагрузки. Для решения этой задачи в систему может быть добавлена обратная связь по скорости, а, следовательно, и компенсация скольжения. Скалярное управление хоть и позволяет достичь существенного снижения энергозатрат, однако не удовлетворяет требованиям высокопроизводительных систем, где важным показателем является точность и широкий диапазон регулирования. Для этих целей применяют векторное частотное управление - метод управления асинхронными

электродвигателями переменного тока, который позволяет независимо и практически безынерционно регулировать скорость вращения и момент на валу электродвигателя.

Основная идея векторного управления заключается в том, чтобы контролировать не только величину и частоту напряжения питания, но и фазу [3]. Т.е. контролирование величины и угла пространственного вектора (рис. 2). Векторное управление в сравнении со скалярным обладает более высокой производительностью, а также избавляет практически от всех его недостатков.

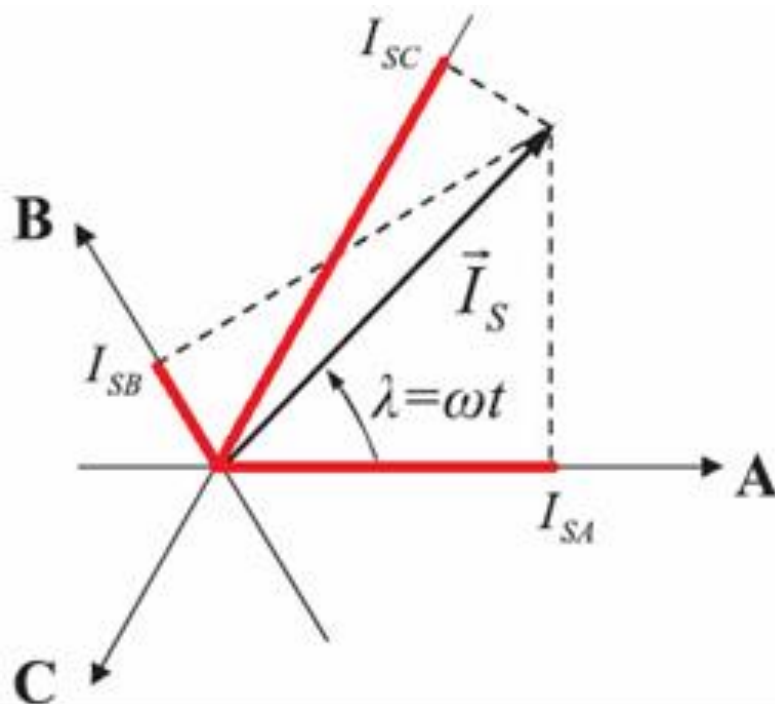


Рисунок 2 – Принцип векторного частотного управления трехфазным АД

Главный принцип векторного частотного управления заключается в том, что математическая модель двигателя позволяет рассчитывать скорость вращения ротора и момент на валу в зависимости от текущих токов фаз (от частоты и величин токов в обмотках статора). Этот более прогрессивный подход предоставляет возможность независимо и почти безынерционно регулировать как момент на валу, так и скорость вращения вала под нагрузкой, ибо в процессе управления учитываются еще и фазы токов.

В зависимости от области применения электропривода и установленных требований к точности регулирования возможна установка бездатчиковых систем. Либо для повышения качества управления система оснащается схемами обратной связи по скорости. Системы векторного управления с использованием схем обратной связи по току позволяют достичь точности скорости с отклонением не более 0,1% и диапазона управления до 1:10000. Соблюдение таких требований возможно даже при низких частотах до 1 Гц.

Методы векторного частотного управления трехфазным АД

Среди существующих методов управления моментом стоит выделять группы линейных (ПИ, ПИД) и нелинейных (гистерезисных) регуляторов.

Линейные регуляторы момента работают вместе с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) напряжения. Регуляторы определяют требуемый вектор напряжения статора, усредненный за период дискретизации. Вектор напряжения окончательно синтезируется методом ШИМ, в большинстве случаев используется пространственно-векторная модуляция (ПВМ). В отличие от нелинейных схем управления моментом, где сигналы обрабатываются по мгновенным значениям, в линейных схемах контроля момента, линейный регулятор (ПИ) работает со значениями, усредненными за период дискретизации. К группе линейных регуляторов относят следующие методы управления моментом:

- полеориентированное управление (ПОУ, англ. field oriented control, FOC);

- прямое управление моментом с пространственно-векторной модуляцией напряжения (ПУМ-ПВМ, англ. direct torque control with voltage space vector modulation, DTC-SVM);
- прямое управление моментом с пространственно-векторной модуляцией потока (ПУМ-ПВМП, англ. direct torque control with flux vector modulation, DTC-FVM).

Полеориентированное управление - метод регулирования, который управляет асинхронным электродвигателем переменного тока, как машиной постоянного тока с независимым возбуждением, подразумевая, что поле и момент могут контролироваться отдельно. В полеориентированном управлении момент и поле контролируются косвенно посредством управления составляющими вектора тока статора. Для определения положения ротора используется либо датчик положения ротора, установленный в электродвигателе либо реализованный в системе управления бездатчиковый алгоритм управления, который вычисляет информацию о положении ротора в режиме реального времени на основании тех данных, которые имеются в системе управления.

В схеме прямого управления моментом с пространственно-векторной модуляцией (ПУМ-ПВМ) момент и потокосцепление напрямую управляются в замкнутом контуре, поэтому необходима точная оценка потока и момента двигателя. В отличие от классического алгоритма гистерезисного прямого управления моментом, ПУМ-ПВМ работает на постоянной частоте переключения. Это значительно повышает характеристики системы управления: уменьшает пульсации момента и потока, позволяет уверенно запускать двигатель и работать на низких оборотах. Но при этом снижаются динамические характеристики привода.

Нелинейные регуляторы момента – представляют собой векторный частотный регулятор, основная идея которого состоит в преобразовании координат и управления по аналогии с коллекторным двигателем постоянного тока, являющегося основой для полеориентированного управления. Нелинейные регуляторы предлагают заменить раздельное управление на непрерывное (гистерезисное) управление, которое соответствует идеологии работы (включено-выключено) полупроводниковых устройств инвертора.

К группе нелинейных регуляторов момента относят:

- прямое управление моментом с таблицей включения (ПУМ-ТВ);
- прямое самоуправление (ПСУ);
- адаптивное прямое управление моментом;
- нейронные сети;
- регуляторы с нечеткой логикой.

Принцип метода прямого управления моментом заключается в выборе вектора напряжения для одновременного управления и моментом, и потокосцеплением статора. Измеренные токи статора и напряжение инвертора используются для оценки потокосцепления и момента. Оцененные значения потокосцепления статора Ψ_s и момента M сравниваются с управляющими сигналами потокосцепления статора ψ_s^* и момента двигателя M^* соответственно посредством гистерезисного компаратора. Требуемый вектор напряжения управления электродвигателем выбирается из таблицы включения исходя из оцифрованных ошибок потокосцепления $d\Psi$ и момента dM генерируемых гистерезисными компараторами, а также исходя из сектора положения вектора потокосцепления статора $N(\theta)$ полученного исходя из его углового положения

$$\theta = \arctg \frac{\Psi_{s\alpha}}{\Psi_{s\beta}}$$

Таким образом, импульсы SA, SB и SC для управления силовыми ключами инвертора генерируются посредством выбора вектора из таблицы.

Особенностями применения схемы ПУМ-ТВ являются:

- синусоидальные формы потокосцепления и токов статора с коэффициентом гармоник определяемым зоной гистерезиса (зоной нечувствительности) регуляторов потокосцепления и момента;

- отличная динамика момента;

- зоны гистерезиса потокосцепления и момента определяют частоту переключения инвертора, которая изменяется с изменением синхронной скорости и изменением нагрузки.

Недостатком классического метода прямого управления моментом является наличие высоких пульсаций тока и момента в установившемся состоянии. Проблема устраняется повышением рабочей частоты инвертора выше 40кГц, что увеличивает общую стоимость системы управления [4].

Принцип прямого самоуправления. Основываясь на командах потокосцепления статора ψ_s^* и текущих фазовых составляющих ψ_{sA} , ψ_{sB} и ψ_{sC} компараторы потокосцепления генерируют цифровые сигналы d_A , d_B и d_C , которые соответствуют активным состояниям напряжений ($V_1 - V_6$). Гистерезисный регулятор момента имеет на выходе сигнал d_M , который определяет нулевые состояния. Таким образом, регулятор потокосцепления статора задает отрезок времени активных состояний напряжений, которые перемещают вектор потокосцепления статора по заданной траектории, а регулятор момента определяет отрезок времени нулевых состояний напряжений, которые поддерживают момент электродвигателя в определенном гистерезисом поле допуска. Стоит также отметить, что работа метода прямого самоуправления может быть воспроизведена с помощью схемы ПУМ-ТВ при ширине гистерезиса потока 14%.

Особенности применения схемы прямого самоуправления:

- несинусоидальные формы потокосцепления и тока статора;

- вектор потокосцепления статора перемещается по шестиугольной траектории;

нет запаса по напряжению питания, возможности инвертора используются полностью;

- частота переключения инвертора ниже чем у прямого управления моментом с таблицей включения;

- отличная динамика в диапазонах постоянного и ослабленного поля.

Выводы

В ходе анализа водопроводного узла как объекта автоматического управления было выявлено, что основными потребителями электрической энергии являются насосные агрегаты. Насос приводит в действие асинхронный двигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором, а значит для построения энергоэффективной системы управления необходимо применять рациональные методы управления скоростью вращения электропривода. На данный момент частотное управление является наименее энергозатратным и удовлетворяет наибольшему ряду требований по точности и качеству управления АД. Были выделены и рассмотрены различные современные методы векторного частотного преобразования, приведены их основные преимущества и недостатки.

Перечень ссылок

1. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. / Б.С. Лезнов — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с., ил.

2. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: учебн. пособие / А.А. Усольцев. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.

3. Трехфазный асинхронный двигатель [Электронный ресурс] // Инженерные решения. – режим доступа: <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/induction3ph/>

4. Cristian Busca. Open loop low speed control for PMSM in high dynamic application.- Aalborg, Denmark.: Aalborg universitet, 2010

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТРОПИЧЕСКОЙ ОРАНЖЕРЕИ

Коломоец Э.А. студент; Хорхордин А.В., проф., к.т.н.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Моделирование автоматизированной системы в оранжерее является трудоемкой задачей, требующей широкого знания всех вовлеченных в развитие растений физических процессов, как на этапе проектирования, так и на стадии проверки модели.

По сравнению с традиционным математическим моделированием нечеткое моделирование обладает некоторыми отличительными особенностями, такими как механизм рассуждения в понятных для человека терминах, способность получать лингвистическую информацию от людей-экспертов и комбинировать ее с числовыми данными, аппроксимировать сложные нелинейные функции с помощью простых моделей. В литературе предложено несколько методов фазификации [2], многие из которых генерируют отношения нечетких правил из реальных данных ввода-вывода.

Кроме того, нечеткий формализм позволяет определить вклад каждой из множества подмоделей в представление всей системы. То есть нелинейная модель может быть представлена набором линейных моделей, объединенных тщательно подобранными нечеткими правилами. Таким образом, каждая подсистема может содержать информацию, связанную с нелинейной системой. Следовательно, разрешается одна из проблем управления.

Один из первых вопросов, который необходимо решить при разработке контроллера нечеткой логики, это определения входов и выходов регулятора. Модель нечеткого регулятора имеет 5 входных лингвистических переменных:

- «T_in» – заданная температура;
- «H_in» – заданная влажность;
- «C» – концентрация углекислого газа процесса;
- «T_out» – температура наружного воздуха;
- «H_out» – влажность наружного воздуха.

Выходами модели нечеткого регулятора являются лингвистические переменные:

- «Heat» – управляющее воздействие по контуру отопления;
- «Fog» – управляющее воздействие по контуру увлажнения;
- «Ventilation» – управляющее воздействие по контуру проветривания;

Структура модели нечеткого регулятора приведена на рисунке 1:

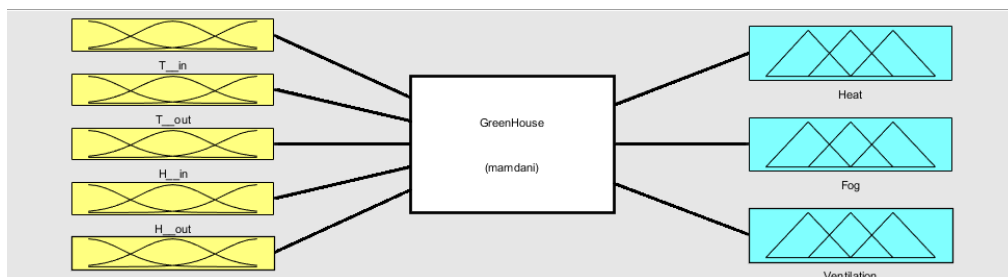


Рисунок 1 – Укрупненная модель нечеткого регулятора

Следующим этапом в разработке регулятора является определение диапазона входов и выходов. Если говорить о нечетких множествах, этот диапазон называется универсальным пространством [3]. Выходное значение, контролируемое теорией нечеткой логики, разрабатывается с использованием программного обеспечения MATLAB. Нечеткое управление широко используется, когда моделирование системы подразумевает, что информация является недостаточной и неточной, или, когда система описывается сложной

математической моделью. Примером структуры такого типа является тропическая оранжерея и ее переменные, такие как внутренняя температура. Эта переменная состояния влияет на динамическое поведение теплицы.

Сначала набор входных данных собирается и преобразуется в нечеткий набор с использованием нечетких лингвистических переменных, нечетких лингвистических терминов и функций принадлежности. Этот шаг называется «фазификация». Затем делается вывод на основе набора правил. Результирующий нечеткий выходной сигнал сопоставляется с чистым выводом с использованием функций принадлежности на этапе дефазификации.

Задача формирования лингвистических переменных для описания каждого процесса в системе имеет схожую структуру, поэтому в данной статье она рассматривается на примере процесса поддержания заданного температурного режима.

Для описания температурного режима процесса вводится лингвистическая переменная температуры «Т», которая включает в себя следующие положения:

1. Нижним допустимым значением температуры воздуха принимается T_{min} °С, температура при которой осуществляется практически полная остановка биологических процессов растений.

2. Верхним допустимым значением температуры принимается T_{max} °С, это значение характеризуется максимальной скоростью протекания биологических процессов.

Пределы допустимых значений по всем параметрам микроклимата приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Пределы для парниковых переменных

Параметр	Нижний предел (min)	Верхний предел (max)
Температура внутри	15°С	28°С
Температура снаружи	-35°С	40°С
Влажность внутри	70%	95%
Влажность снаружи	50%	70%
Солнечная энергия (радиация)	1,2 кВтч/м ² /день	5,6 кВтч/м ² /день

Таким образом, решая задачу фазификации для входной лингвистической переменной температуры «Т», необходимо определить три параметра для каждой функции принадлежности:

- 1-ый параметр – наименьшее крайнее значение нечеткого множества;
- 2-ий параметр – оптимум (центр) нечеткого множества;
- 3-ий параметр – наибольшее крайнее значение нечеткого множества.

Например, в качестве параметров функции принадлежности входной лингвистической переменной «Т» описанного нечетким множеством в пределах 15-28 °С, и центром в точке 21 °С следует записать такие значения: 15, 21, 28.

Далее определяются термы (множества) лингвистических переменных. Параметр «Т», исходя из опытных исследований [3] разбивается на интервалы (ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 , ΔT_4 , ΔT_5), в которых проявляются наиболее явные изменения биологических процессов растений. Каждый такой интервал описывается термом. В результате чего было задано пять термов, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Термы лингвистической переменной «Т»

Параметр	Характеристика параметра	Терм
ΔT_1	Температура пониженная	veryLow
ΔT_2	Температура немного пониженная	Low
ΔT_3	Оптимальная (номинальная) температура	Zero
ΔT_4	Температура немного повышенная	Hight
ΔT_5	Температура повышенная	veryHight

Во многих стратегиях нечеткого управления функции принадлежности (MF) выбираются в виде трапецевидных, треугольных или гауссовых кривых в зависимости от выбранных диапазонов. В данной модели входные и выходные переменные в пакете Fuzzy Logic Toolbox используют гауссовскую функцию принадлежности «gaussmf», как показано на рисунке ниже:

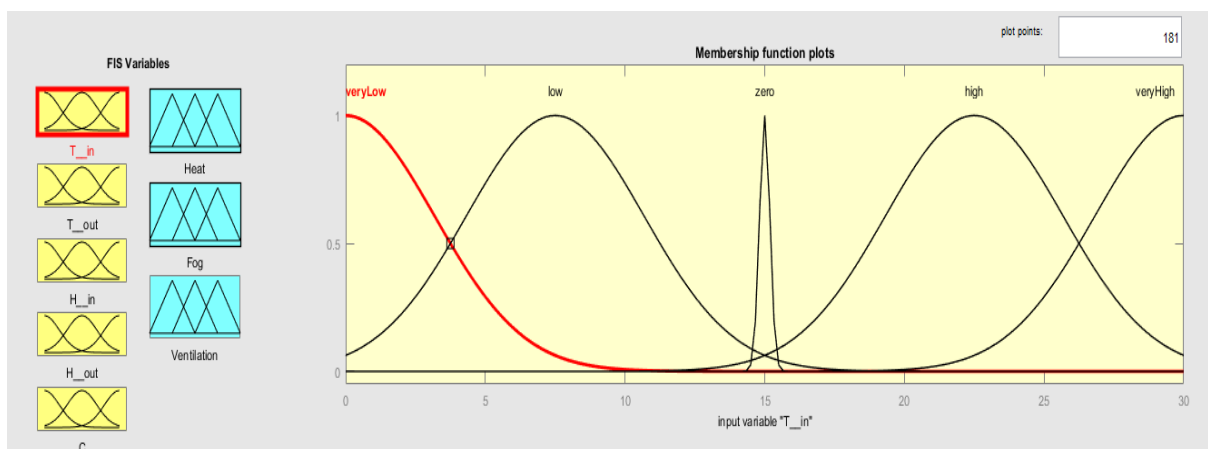


Рисунок 2 – Функции принадлежности для входного параметра «Т» нечеткого регулятора

После определения функций принадлежности правила вывода были реализованы таким образом, чтобы обеспечить оптимальный контроль. Обычно база правил разрабатывается на основе экспериментальных данных и накопленного опыта [4]. При ручном управлении задача технолога состоит в выборе оптимальных параметров в теплице на основании разработанных им правил-стратегий с учетом таких влияющих факторов, как состояние окружающей среды и др., для достижения максимального результата с наименьшими затратами.

Разработанные правила основываются на библиографических исследованиях, результат которых представлен в таблице 1. В таблице приводятся оптимальные параметры микроклимата для выращивания тропических растений (температура, влажность, солнечная энергия). Рекомендуемые режимы могут варьироваться, что связано с учетом дополнительных факторов, например, времени суток, времени года и т.д. Исходя из этого правила, описывающие стратегию управления температурным режимом, могут быть следующими:

1. Если наружная температура немного пониженная, то следует выдерживать оптимальный (номинальный) режим температуры и влажности процесса.
2. Если наружная температура пониженная, то следует выдерживать немного пониженную температуру и номинальную влажность.
3. Если наружная температура номинальная, то следует выдерживать немного повышенную температуру процесса и немного пониженную влажность.
4. Если наружная температура немного повышенная, то следует выдерживать оптимальный (номинальный) режим температуры и немного повышенную влажность.
5. Если наружная температура повышенная, то следует выдерживать пониженный режим температуры и повышенную влажность.

Описанные правила характеризуют выбор режима температуры всех сезонов времени года: температура около $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (холодно) – правило 1, температура около $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже (очень холодно) – правило 2, температура около $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – правило 3, температура около $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (тепло) – правило 4, температура порядка $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (жарко) и более – правило 5.

Особенность данных правил состоит в том, что таким образом система учитывает климатические изменения вне оранжереи, позволяя создавать для растений жизненно необходимые, так называемые, «летние» и «зимние» циклы жизни растений. На основе данной логики с помощью пакета Fuzzy Logic Toolbox в пакете MATLAB были разработаны 42 правила для всей системы управления микроклиматом:

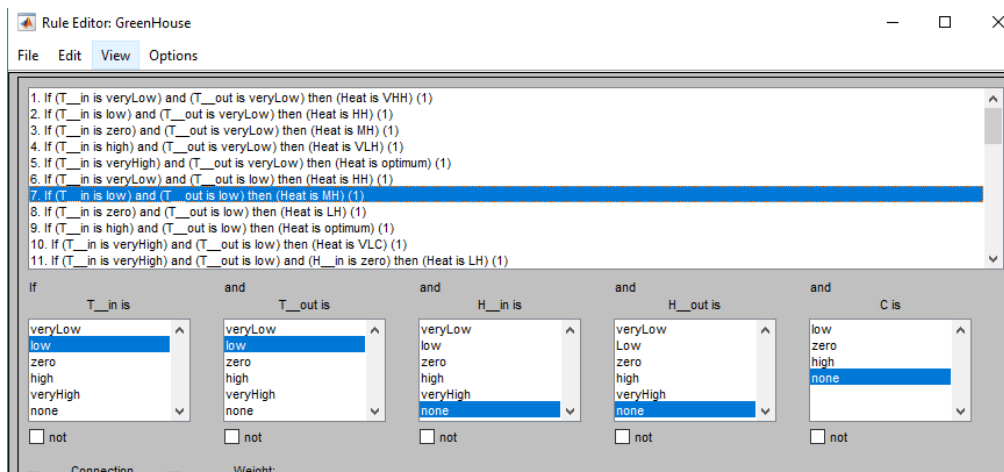


Рисунок 3 – Окно настройки правил Fuzzy Logic Toolbox

Следующим шагом в разработке регулятора является дефазификация. Дефазификация в системах нечеткого вывода представляет собой процедуру нахождения обычного (не нечеткого) значения для каждой из выходных лингвистических переменных. В случае с оранжереей процесс дефазификации заключается в том, чтобы определить физическую величину управляющих воздействий. Существует достаточно большое множество методов дефазификации, например метод среднего максимума, метод центра тяжести, метод центра сумм, метод высот и т.д. Процедуру нечеткого вывода и дефазификации можно осуществить посредством блока в Fuzzy Logic Controller в Simulink.

Исходя из вышеописанного структуру нечеткого регулятора можно представить следующим образом ($V_T(t)$, $V_V(t)$ и $V_H(t)$ – физические величины управляющего воздействия):

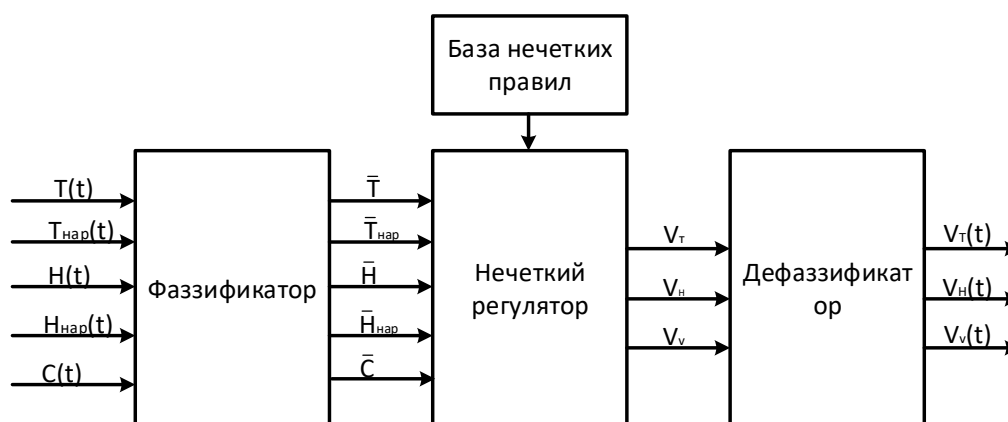


Рисунок 4 – Структура нечеткого регулятора

Таким образом, был рассмотрен процесс проектирования нечеткого регулятора для тропической оранжереи, сформулированы правила и получена укрупненная обобщенная модель.

Перечень ссылок

1. Кошкин Д. Исследование динамических характеристик системы управления микроклиматом теплицы. – Николаев.: Motrol, 2011. – 189 с.
2. Rodrigues F. The Greenhouse Dynamical System / F. Rodrigues, M. Berenguel, J. Guzman, A. Ranirez-Arias – 2015 – 250 с.
3. Faouzi D. Optimizing the Management and Use of Energy in the Greenhouse by Modeling the Associated Heating and Cooling Systems and Implemented by an Intelligent Controller. / D. Faouzi, N. Bibi-Triki, N. Benmoussa, A. Bouhajar – 2017. – 318 с.
4. Тащилина А. Нечеткая модель оперативного планирования поливов для автоматизированных систем капельного орошения. / А. Тащилина. – 2015. – 140 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАКЕТОМ «УМНЫЙ ДОМ»

Кравченко В.С., студ.; Чернышев Н.Н., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР»)

Введение и анализ существующих систем управления.

«Умным домом» называют современное здание, все коммуникации которого объединены с помощью высокотехнологичных устройств, предназначенных для повышения удобства использования и повышения экономических показателей при эксплуатации оборудования человеком[1].

На данный момент на российском рынке уже существуют свои компании, реализующие решения умных домов, а также филиалы некоторых зарубежных компаний: Клевер Хоум, 1Smart-Home, domotix.pro, Z-Wave, Siemens и другие.

Большинство компаний, работающих в области создания «Умных домов», применяют системы, в основе которых лежат дорогие и громоздкие программируемые логические контроллеры, у которых используется лишь часть их возможностей при построении «Умных домов» для небольших жилых помещений, что повышает стоимость проектов, их габариты и энергопотребление.

Актуальность.

Данный макет позволит освоить основные моменты организации и построения современной технологии «Умный дом». Изучить принципы функционирования типовых датчиков и наглядно увидеть реализацию сценариев типа «реакция датчика – условие – действие исполнительного устройства».

Если рассматривать в целом технологию, то она позволит сделать жизнь человека более проще, комфортней, безопасней и мобильней. Правильный, современный подход и грамотная реализация технологии автоматизации позволят значительно снизить расходы на жилищно-коммунальные расходы. «Умные дома» помогут не только упростить жизнь, но и будут незаменимы для лиц пожилого возраста или людей с ограниченными возможностями.

Основные функциональные возможности системы.

1. Освещение. Включение одной, пары или системы ламп автоматически, на основании срабатывания датчиков движения и ультразвуковых датчиков.

2. Вентиляция, кондиционирование воздуха. Центральный кулер проветривает помещение в случае срабатывания датчика угарного газа, охлаждает или нагревает помещение в случае выхода за заданные пороговые значения температуры.

3. Безопасность. Для данного макета разработан софт, с помощью которого можно поставить здание в охранный режим и так же перейти в обычный режим. В обычном режиме датчики функционируют немного иначе. Например в охранный режим ультразвуковой датчик расстояния при срабатывании запускает сирену и отправляет смс сообщение в соответствующие органы или хозяину здания, а в обычном режиме – лишь включает освещение в комнате.

Связь между смартфоном и контроллером в данном макете осуществляется с помощью двух технологий Bluetooth и GSM, а датчики и исполнительные механизмы связаны с контроллером медными проводниками.

Функциональная схема системы.

Система умного дома включает три типа устройств:

Контроллер (хаб) — управляющее устройство, соединяющее все элементы системы друг с другом и связывающее её с внешним миром

Датчики (сенсоры) — устройства, получающие информацию о внешних условиях

Актуаторы — исполнительные устройства, непосредственно исполняющие команды. Это самая многочисленная группа, в которую входят умные (автоматические) выключатели,

умные (автоматические) розетки, умные (автоматические) клапаны для труб, сирены, климат-контроллеры и так далее.

Актуаторы и датчики подключены к контроллеру медными проводниками к цифровым портам, также для управления актуаторами со смартфона к контроллеру по последовательным портам подключен Bluetooth модуль, как показано на структурной схеме подключения[2].

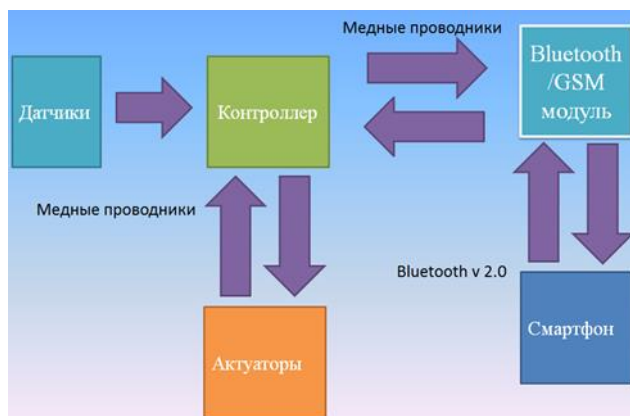


Рисунок 1 – Функциональная схема макета «Умный дом»

В большинстве современных умных домов контроллер общается с остальными устройствами системы через радиосигналы. Самые распространенные стандарты радиосвязи для домашней автоматизации — Z-Wave (частота зависит от страны, в Европе 868 МГц, в России 869 МГц) и ZigBee (868 МГц или 2,4 ГГц), Wi-Fi (2,4 ГГц), Bluetooth (2,4 ГГц). В случае создания макета, достаточно использовать технологию Bluetooth. Она позволяет устройствам общаться, когда они находятся в радиусе до 10 м друг от друга (дальность сильно зависит от преград и помех). При проектировании реальной системы, технология Bluetooth не подойдет в виду своих минусов и необходимо выбирать другие стандарты радиосвязи.

Техническая и программная реализация макета.

Для реализации макетного стенда была использована плата Arduino Mega на базе микроконтроллера ATmega2560 (рис.2)

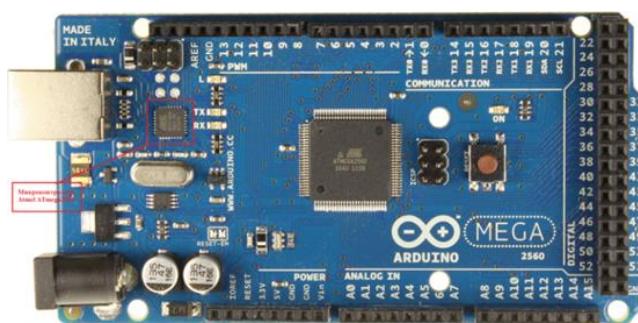


Рисунок 2 – Плата Arduino Mega 2560 (указан МК Atmel ATmega2560)

Основные виды применяемых датчиков:

1. Датчики движения. Позволяют обнаруживать движение человека или домашнего животного на расстоянии до 7 метров.

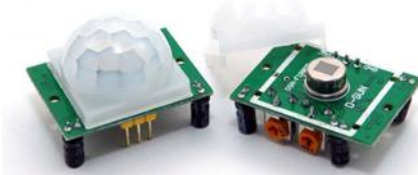


Рисунок 3 – Датчик движения

2. Датчики температуры и влажности. Они широко используются в системах автоматического управления климатом. Как правило, устанавливаются в каждом помещении «умного дома».

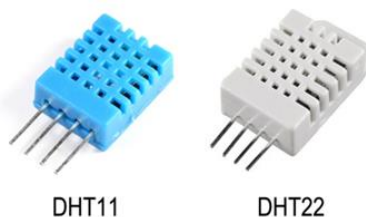


Рисунок 4 – Датчики температуры DHT11 и DHT22

3. Ультразвуковые датчики расстояния. Данные модули используют акустическое излучение для определения расстояния до объекта. В данном макете используются для определения присутствия объекта на траектории выделяемого излучения.



Рисунок 5 – Ультразвуковой датчик расстояния HC-SR04

4. Датчики газа. В частности MQ-7 Gas Sensor – датчик, чувствительный к угарному газу.



Рисунок 6 – Датчик угарного газа MQ-7 Gas Sensor

5. Датчики огня. Позволяют обнаружить огонь или источник света с длиной волны 760 нм ~ 1100 нм.



Рисунок 7 – Датчик огня и пламени

Помимо вышеперечисленных датчиков, макет оснащен жидкокристаллическим дисплеем размером (16x2), который позволяет наглядно отображать текущую температуру и влажность здания с частотой обновления 0,5 сек, а также отображает изменение режима здания с обычного на охранный и наоборот (рис. 8)[3].

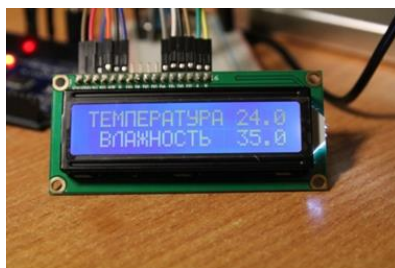


Рисунок 8 – Жидкокристаллический дисплей (16x2)

Разработано программное обеспечение под Android.

Для управления зданием разработано приложение для смартфона, которое позволяет посредством технологии Bluetooth управлять освещением, вентиляцией, режимами здания, состоянием двери и оставлена возможность для подключения дополнительных нагрузок (чайник, холодильник, и.т.п.) (рис. 9).



Рисунок 9 – Внешний вид интерфейса пользователя

Выводы.

Рассмотрено понятие системы «Умный дом», актуальность и важность построения данной системы в современном мире, проведен анализ продукции существующих компаний, показаны основные функциональные возможности системы и рассмотрены основные составляющие ее компоненты. Отображена функциональная схема, которая демонстрирует принцип функционирования данного макета. Рассмотрена техническая и программная часть проекта.

Разработанная система обладает высокой гибкостью, позволяющей расширять или уменьшать свои возможности в зависимости от требований пользователя. Понимание основных моментов организации и построения современной технологии «Умный дом», изучение принципа функционирования типовых датчиков и реализации сценария типа «реакция датчика – условие – действие исполнительного устройства», которые предоставит данный макет, позволит без труда создать реальную систему домашней автоматизации самостоятельно, не приобретая готовые дорогостоящие решения.

Перечень ссылок

1. Умный дом как домашняя автоматизация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://energy-prirody.ru/umniy_dom.html
2. Основы построения системы «Умный дом».[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/courses/644/500/lecture/11367> (лекция 2 «GSM модули»)
3. Умный дом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://i9522998.bget.ru/%D1%83%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%B4%D0%BE%D0%BC/>

МАГНИТОСТРИКЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НАКИПИ В ТЕПЛООБМЕННОЙ АППАРАТУРЕ

*Курицин А.И., магистрант, Симаков И.В., магистрант, Прошкин В.Н., доц., к.т.н.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» (г. Пенза, Россия)*

Ультразвуковая обработка воды в теплообменной аппаратуре является одним из экологически чистых технологических процессов и получила большое распространение в различных отраслях промышленности. В настоящее время с помощью ультразвуковой обработки реализуются следующие технологические процессы: ультразвуковой мойки, очистки, обезжиривания, пропитки, а также предотвращения образования накипи в теплообменной аппаратуре. Также с помощью ультразвуковой обработки производится стерилизация медицинских приборов и инструментов, очистка деталей точной механики, оптических приборов, электронных компонентов, ювелирных изделий, предотвращения образования накипи на внутренних стенках теплообменного оборудования [1].

Ультразвуковая обработка жидких сред – сложный технологический процесс, зависящий от физико-химических свойств загрязнений моющей среды очищаемого изделия (химический состав, температура и давление среды) и, в первую очередь, от частоты и интенсивности накладываемого на обрабатываемую область ультразвукового поля.

При воздействии ультразвуковых колебаний на жидкость определенной частоты и интенсивности, в последней происходит целый ряд явлений, важнейшими из которых для очистки являются кавитация, акустические потоки и течения. Именно они определяют основное физическое воздействие в ходе технологического процесса на обрабатываемую среду. Кавитация возникает при достижении интенсивности и частоты ультразвукового поля определенного порогового значения. В результате воздействия ультразвука в жидкой среде происходит чередование образованных на молекулярном уровне областей высокого давления жидкости (до $1,5 \cdot 10^8$ Па) и ее разряжения [2, с. 156].

В ходе работы теплотехнического оборудования тепловых электрических станций при использовании воды с растворенными солями щелочноземельных металлов, на внутренних поверхностях теплообменных аппаратов происходит испарение или нагрев воды, содержащей те или иные соли. Образовавшиеся накипи на стенках теплоагрегатов являются одним из наиболее вредных факторов, влияющих на общую работу станции. На рисунке 1 показано влияние толщины слоя накипи на расход топлива [1].

Для борьбы с накипью существуют целый ряд способов. Это механические способы очистки, реагентные, химические [3]. Существуют также и безреагентные методы, наибольшее распространение из которых получили магнитный и ультразвуковой методы водоподготовки. Для химического умягчения используемой воды требуются значительные затраты на сооружение и обслуживание химводоподготовки. Умягчение воды с помощью ионообменных материалов, а также при нагреве воды для горячего водоснабжения, как правило, не экономично и экологически вредно. Кроме того, в большинстве случаев, химические реактивы сами способствуют разрушению металлоконструкции [3].

Наиболее распространенным способом борьбы с накипью является безреагентный физический метод, в частности, ультразвуковой метод [4]. Принцип ультразвуковой технологии предотвращения образования накипи основан на воздействии механических колебаний ультразвуковой частоты на процессы накипеобразования, протекающие в теплотехническом оборудовании при его работе.

Под воздействием ультразвукового (кавитационного) поля определенной частоты и интенсивности на поверхность теплообменных аппаратов в водной среде образуется большое разнообразие смешивающихся центров кристаллизации. Такое явление делает

невозможным образование, рост и осаждение накипи на внутреннюю поверхность теплообменной аппаратуры. В результате воздействия кавитационного поля на водную среду наблюдается нарушение условий образования накипи. Под воздействием ультразвуковых колебаний в накипи появляются микротрещины, которые, в дальнейшем приводят к массовому разрушению отложений, образованию шлама и его удалению потоком воды.

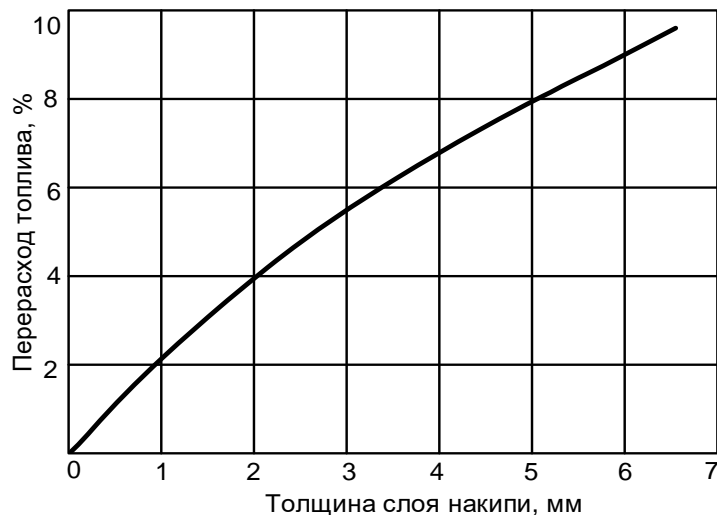


Рисунок 1 – Зависимость расхода топлива от толщины слоя накипи

Ультразвуковые генераторы для получения кавитационного поля в жидкой среде обладают существенными недостатками: во-первых, низкий КПД (низкая амплитуда механических колебаний вибратора, а, следовательно, и эффективность). Кроме того, у ферромагнитных сплавов, входящих в состав концентратора низкая точка Кюри, которая находится в диапазоне 130...150 °С. Вблизи точки Кюри амплитуда механических колебаний вибратора резко снижается, что также снижает его эффективность; во-вторых, область интенсивного воздействия ультразвука ограничено небольшими объемами, в которых осуществляется этот процесс, так как часть энергии магнитострикционного преобразователя, создающая кавитационное поле, составляет менее 1 % [5]. Поэтому для больших объемов тепловых агрегатов требуется большое количество генераторов, что экономически невыгодно.

В настоящее время разработано большое разнообразие магнитострикционных кавитационных систем на продольных магнитоупругих волнах. На рисунке 2 приведена конструкция такого преобразователя.

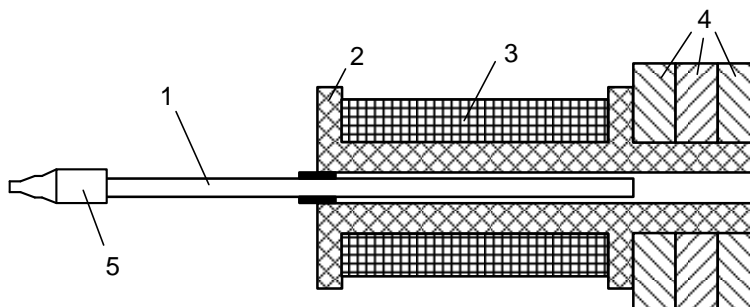


Рисунок 2 – Конструкция магнитострикционного преобразователя для получения ультразвука частотой в диапазоне 20 – 50 кГц: 1 – сердечник; 2 – каркас обмотки возбуждения; 3 – обмотка возбуждения; 4 – кольцевые керамические магниты; 5 – акустический концентратор

В качестве ферромагнитного сердечника 1 используется круглый стержень из сплава

49К2Ф диаметром 10 мм и длиной 90 – 150 мм. Акустический концентратор 5 – устройство для увеличения амплитуды колебательного смещения стержня в низкочастотном ультразвуковом диапазоне [2, с. 171]. Оптимальный режим работы магнитоотрижателя обеспечивается подмагничиванием постоянным током (на рисунке не показано), поэтому его электрическая часть состоит из одной обмотки, обтекаемой одновременно постоянным и переменным током. Физические процессы в сердечнике преобразователя не зависят от того, как возникло поле подмагничивания [3].

Для повышения эффективности магнитоотрижательной системы предотвращения накипиобразования на стенках тепловых агрегатов предлагается изготовление концентратора 5 по новой технологии, с использованием новых материалов продукции ЦНИИчермет им. И.П. Бардина (г. Москва). В последнее время в ЦНИИчермет разработана опытная технология изготовления перспективных сплавов на основе кобальта, никеля, железа с высокими магнитоотрижательными свойствами (коэффициент магнитоотрижательности этих сплавов на порядок выше, чем у известных сплавов с точкой Кюри 950 °С).

Кроме того, значительно повысить эффективность системы предотвращения накипи можно за счет дополнительного наложения на ультразвуковое поле инфранизкочастотных колебаний, полученных от электроакустического излучателя, выполненного, например, в виде мембраны [5]. Здесь главным компонентом оборудования становится инфранизкочастотный излучатель, возбуждающий в рабочей среде интенсивные знакопеременные пульсации давления и скорости.

Для предотвращения влияния инфранизкочастотных колебаний на окружающую среду следует ввести в систему низкочастотный акустический демпфер, выполненный в виде жесткой массивной панели, крепящейся на шарнирах к потолку и полу параллельно основной стене с небольшим зазором. Демпфер представляет собой колебательную систему с одной степенью свободы. Роль массы выполняет панель, а упругость системы складывается из упругости воздушного промежутка между панелью и стеной упругости элементов подвесок панели. Энергия низкочастотных колебаний воздуха расходуется на отклонение панели от равновесного состояния [5].

Также предлагается добавить обратную связь в систему по содержанию солей в воде на входе и выходе теплообменной аппаратуре. Информация с датчика на входе позволит определить содержание солей в поступающей воде, а информация на выходе позволит оценить эффективность работы предлагаемого устройства.

Предлагаемая магнитоотрижательная система для предотвращения образования накипи в теплообменной аппаратуре позволит расширить рабочий температурный диапазон, а также повысить эффективность кавитационной установки и может оказаться весьма полезной для множества других технических решений и технологий.

Перечень ссылок

1. Дорошенко И.В. Исследование теплообмена и разработка технологии комплексной защиты поверхностей нагрева котельных установок: дис...канд. техн. наук. – Череповец, 2005. – 167 с.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И.В. Голяминой. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
3. Методы и способы очистки воды. [Электронный ресурс]: – Режим доступа URL: http://oil-filters.ru/water_cleaning_methods/ (дата обращения 10.04.2019).
4. Научно-производственный институт «Генерация». [Электронный ресурс]: – Режим доступа URL: <http://ot-nakipi.ru/node/149> (дата обращения 10.04.2019).
5. Новогрудский Е.Е., Шульгин А.И., Валиулин А.И. Инфразвук: враг или друг? – М.: Машиностроение, 1989. – 64с.

ПАРОВОЙ УГОЛЬНЫЙ КОТЕЛ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Куропятник И.В., студент; Павловская К.А., ассистент

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В настоящее время эксплуатируется огромное количество котлов, которые в подавляющем большинстве морально и физически устарели, что приводит к значительным потерям тепла при производстве пара и подогреве воды. В связи с этим вопрос повышения технического уровня котельных, в частности, их эффективности и надежности, имеет важное хозяйственное значение, и поэтому является основным в деятельности многих научно-исследовательских и конструкторско-технологических организаций.

В основном, котлы являются неотъемлемой составной частью большинства промышленных и общественных комплексов. Основная задача котла - бесперебойное обеспечение объекта паром и горячей водой с заранее установленными параметрами. Следовательно, отказ парового котла приводит к простоя всего комплекса или, как минимум, его большей части, а это колоссальные убытки. Снижение расходов на обслуживание и продление межремонтного срока, а также упрощение диагностики неполадок в совокупности с повышением надежности, позволяет говорить о значительной выгоде, связанной с применением новой системы автоматизации вместо традиционной при модернизации существующих котельных агрегатов. Именно поэтому автоматизация параметров парового котла является актуальной темой.

Паровые котлы типа Е (КЕ и ДЕ) предназначены для выработки насыщенного или перегретого пара давлением 1,4 МПа (14 кгс/см²) или 2,4 МПа (24 кгс/см²), который применяется для технологических нужд промышленных предприятий, систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции. Технологическая схема парового котла КЕ-25-14С приведена на рисунке 1 [1,2].

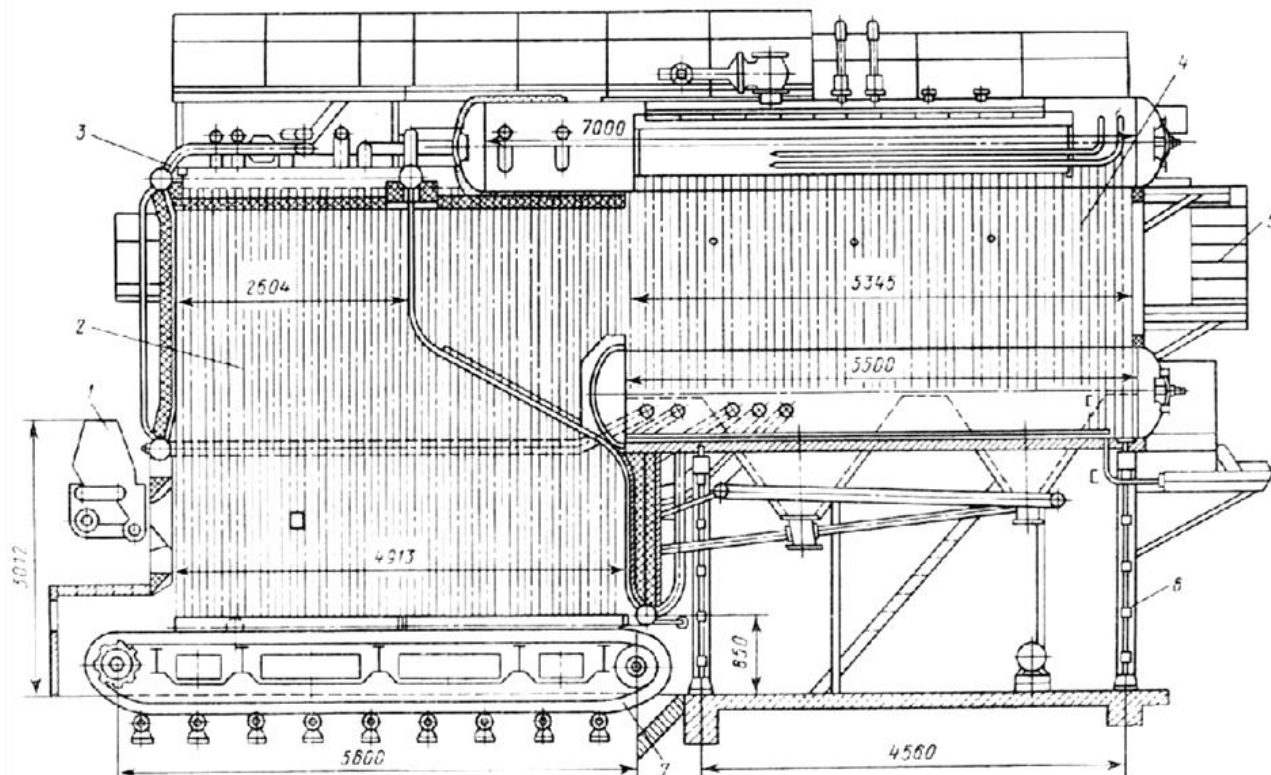


Рисунок 1 – Технологическая схема парового котла КЕ-25-14С

Котел КЕ-25-14С конструктивно разделен на три блока: два топочных и один конвективный, которые располагаются на отдельных опорных рамах, кроме того, конвективный блок обязательно устанавливается на силовой каркас (рис.1).

Топочная камера шириной 2730 мм полностью экранирована трубами диаметром 51х2,5 мм, которые приварены к верхним и нижним камерам диаметром 219х8 мм. Камеры и трубы переднего и заднего топочных блоков образуют самостоятельный контур циркуляции. Верхние камеры боковых экранов расположены асимметрично относительно оси котла [1,3].

Топочная камера котла КЕ-25-14С образована фронтовой и задней стенками, боковыми экранами. Топочная камера разделена кирпичной стенкой на топку и камеру догорания, которая позволяет повысить КПД котла за счет уменьшения механического недожога. Вход газов из топки в камеру догорания и выход газов из котла расположены асимметрично относительно оси котла. Поддон камеры догорания расположен под таким углом, чтобы основная масса падающих в камеру кусков топлива попадала на решетку.

В конвективный блок входят конвективный пучок шириной по осям крайних труб 2320 мм и два барабана диаметром 1000 мм. Расстояние между барабанами 2750 мм. Трубы конвективного пучка развальцованы в барабанах.

В котлах КЕ-25-14С схема испарения – одноступенчатая. Вода циркулирует следующим образом: питательная вода из экономайзера попадает в верхний барабан под уровень воды по перфорированной трубе. В нижний барабан вода сливается по задним обогреваемым трубам кипяточного пучка. Из нижнего барабана вода по перепускным трубам поступает в камеры левого и правого экранов. Питание экранов осуществляется также из верхнего барабана по опускным стоякам, расположенным на фронте котла [2,3].

У котлов КЕ через патрубок периодической продувки осуществляются периодическая и непрерывная продувки. На линиях периодической продувки из всех нижних камер экранов установлены запорные вентили. На паропроводе обдувки установлены дренажные вентили для отвода конденсата при прогреве линии и запорные вентили для подачи пара к обдувочному прибору.

Выполненный выше анализ принципа действия, особенностей и характеристик парового котла КЕ-25-14С позволил сформировать схему его материальных потоков (рис.2) и их информационных переменных (рис.3).

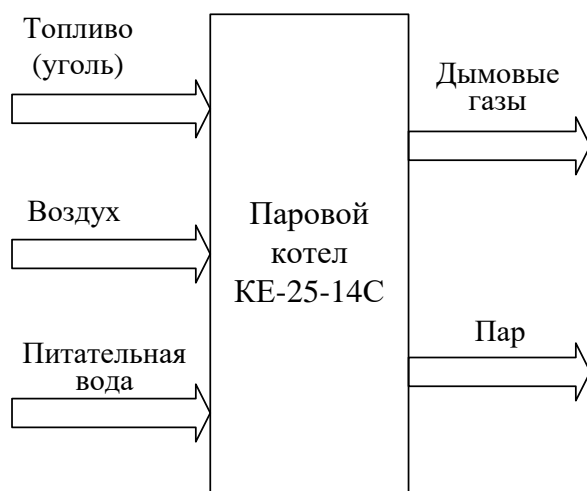


Рисунок 2 – Схема материальных потоков парового котла КЕ-25-14С

Согласно рис.2, входные материальные потоки – топливо, воздух и питательная вода, взаимодействуя между собой в паровом котле, превращаются в его выходные материальные потоки – пар, с необходимыми параметрами и дымовые газы.

Исходя из назначения и принципа действия рассматриваемого объекта управления, с учетом представленной схемы материальных потоков (рис.2), выделены три основные физические переменные, которые характеризуют работу парового котла КЕ-25-14С (рис.3):

- давление пара P_{II} – характеризует соответствие между количеством подаваемого топлива и тепловой нагрузкой на котел;
- коэффициент избытка кислорода α_K – характеризует экономичность и эффективность процесса сгорания топлива;
- разрежение в верхней части топки P_P – характеризует состояние материального баланса по газовой фазе в топке (соотношение между количеством подаваемого в топку воздуха и количеством уходящих дымовых газов).

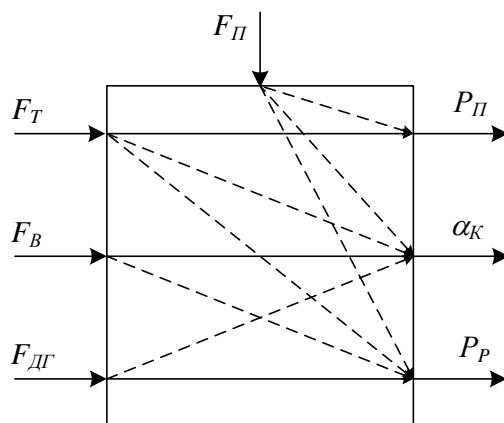


Рисунок 3 – Информационные переменные парового котла КЕ-25-14С и их взаимодействие

Для целенаправленного воздействия на управляемые переменные (P_{II} , P_P , α_K) в разрабатываемой САУ (исходя из рис.3) применяются следующие управляющие воздействия (сплошные стрелки на рис.3):

- расход топлива, подаваемого в топку котла F_T ;
- расход воздуха, подаваемого в топку котла F_B ;
- расход дымовых газов $F_{ДГ}$.

Основным возмущающим воздействием для рассматриваемого объекта управления является расход потребляемого пара F_{II} , которое прямо или косвенно оказывает влияние на все перечисленные управляемые переменные – давление пара P_{II} ; коэффициент избытка кислорода α_K ; разрежение в верхней части топки P_P . Также необходимо отметить, что используемые в качестве управляющих воздействий переменные F_T , F_B , $F_{ДГ}$ оказывают возмущающее влияние и на остальные управляемые переменные (рис.3).

Анализ рассматриваемого объекта управления – парового котла КЕ-25-14С шахтной котельной, а также существующих систем его автоматизации показывает недостаточную эффективность применения одноконтурных структур при автоматическом управлении рассматриваемыми параметрами. Поэтому, предлагается применять многоконтурную структуру системы автоматического управления.

Многоконтурная структура систем автоматического управления, как правило, применяется тогда, когда по каналу управления объект является достаточно инерционным (что характерно для рассматриваемого теплового объекта – парового котла), однако есть дополнительная физическая величина объекта, реакция которой как на возмущающее, так и на управляющее воздействие имеет существенно меньшую инерционность. Часто оказывается, что контроль этой дополнительной управляемой переменной внутреннего контура является совершенно не обязательным при управлении объектом. Но введение в схему САУ дополнительного внутреннего контура, как правило, позволяет достичь существенного улучшения показателей качества управления объектом в целом.

Для автоматического управления паровым котлом применение такой структуры необходимо для управления приведенными выше управляемыми переменными данного объекта – давлением пара P_{II} ; коэффициентом избытка кислорода α_K ; разрежением в верхней части топки P_P . Промежуточными переменными, по которым необходимо реализовать дополнительные внутренние контуры управления являются: расход топлива,

подаваемого в топку котла F_T ; расход воздуха, подаваемого в топку котла F_B ; расход дымовых газов $F_{ДГ}$.

Таким образом, с учетом проведенного выше анализа, предложена структурная схема концепции построения САУ паровым котлом шахтной котельной, которая приведена на рисунке 4.

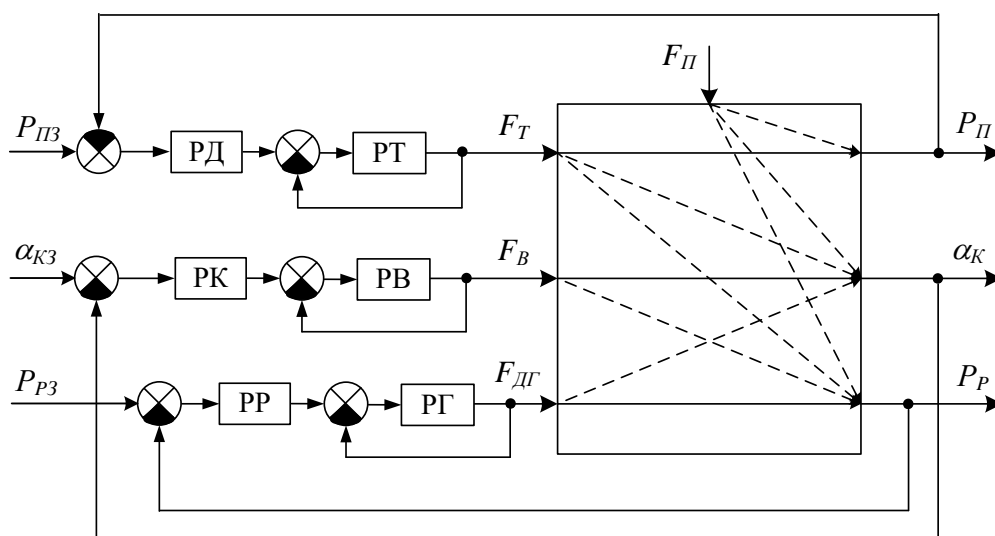


Рисунок 4 – Структурная схема концепции построения САУ

К стабильности поддержания заданного давления пара в паровом котле предъявляются достаточно жесткие требования – это определяет эффективность функционирования котла и использования пара его потребителями. Поэтому САУ давлением пара $P_{П}$ реализована по двухконтурной схеме подчиненного управления при влиянии основного возмущения – расхода пара $F_{П}$ (рис.4). Внутренний контур управления расходом топлива F_T , как указано выше, необходим для повышения качества процесса управления. Алгоритм управления в САУ давлением пара реализуется двумя регуляторами – внешним регулятором давления пара РД и внутренним регулятором расхода топлива РТ (рис.4).

САУ качеством сгорания топлива – концентрацией кислорода в дымовых газах α_K также реализована по двухконтурной схеме подчиненного управления при влиянии основных возмущений – расхода топлива F_T и расхода пара $F_{П}$ (рис.4). Внутренний контур управления расходом воздуха F_B , как указано выше, необходим для повышения качества процесса управления. Алгоритм управления в САУ качеством сгорания топлива реализуется двумя регуляторами – внешним регулятором концентрации кислорода в дымовых газах РК и внутренним регулятором расхода воздуха РВ (рис.4).

САУ разрежением в топке P_P реализуется по двухконтурной схеме подчиненного управления при влиянии основных возмущений – расхода топлива F_T , расхода воздуха F_B и расхода пара $F_{П}$ (рис.4). Внутренний контур управления расходом дымовых газов $F_{ДГ}$, как указано выше, необходим для повышения качества процесса управления. Алгоритм управления в САУ разрежением в топке реализуется двумя регуляторами – внешним регулятором разрежения в топке РР и внутренним регулятором расхода дымовых газов РГ (рис.4).

Перечень ссылок

1. Зыков, А.К. Паровые и водогрейные котлы. / А.К. Зыков. – М.: Энергоатомиздат, 1987 г. – 129 с.
2. Бойко, Е.А. Паровые котлы: учебное пособие. / Е.А. Бойко. – КГТУ, Красноярск, 2005 г. – 135 с.
3. Зыков А.К. Паровые и водогрейные котлы: Справочное пособие / Сост. А.К.Зыков. - 2-е изд., перераб. и доп. изд. офиц. - М.: НПО ОБТ, 1995. - 119с.

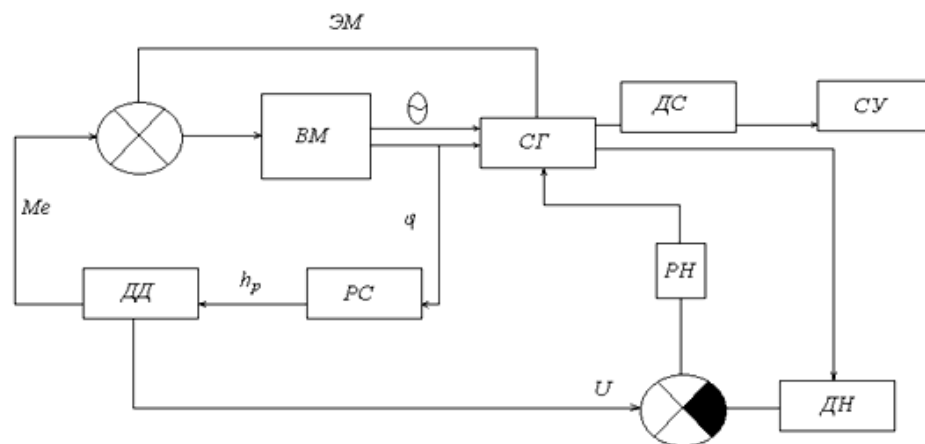
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКОЙ С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

Лапушанский Е.В., магистрант; Червинский В.В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Газопоршневые агрегаты (ГПА) – на сегодняшний день это одни из особенно высокоманевренных приводных механизмов [1]. Это дает возможность использовать их в качестве основных агрегатов для питания различных автономных электроэнергетических систем (ЭЭС), например, металлургических комбинатов. Традиционно, основная нагрузка подобных объектов осуществляется асинхронными двигателями (АД), мощность которых приблизительно соизмерима с мощностью генераторов. Их пуски могут быть крайне тяжелыми переходными процессами, впрочем, по причине приблизительного равенства механических инерционных постоянных двигателей и генераторов, длительность изменения, создаваемого агрегатом (агрегатами) крутящего момента на валу сопоставимо с продолжительностью пусков АД. Следовательно, вопрос поддержания в допустимых пределах основных рабочих параметров ЭЭС, а так же обеспечение требуемого уровня динамической устойчивости системы является чрезвычайно важной задачей, которая может быть решена корректным выбором схемы выдачи мощности станции, ее элементов, а также структуры и настроечных параметров систем регулирования. В данной работе проведен анализ существующих систем автоматического управления автономных ЭЭС с ГПА с целью оценки качества их функционирования с установленными параметрами, и возможностью масштабного применения в существующих производственных мощностях.

Типовая структурная схема существующей системы регулирования газопоршневой установкой в ЭЭС представлена на рисунке 1.



РН – регулятор напряжения; ДД – газопоршневой двигатель; СГ – синхронный генератор; M – крутящий момент; $M_{эм}$ – электромагнитный момент; ВМ – вращающиеся массы агрегата; h_p – ход рейки; ДН – датчик напряжения; СУ – симметрирующее устройство; ДС – дополнительное сопротивление.

Рисунок 1 - Комплексная структурная схема системы регулирования газопоршневой установки с симметрирующим устройством

Для анализа функционирования системы управления ГПА в ЭЭС рассмотрим математическое описание ее отдельных элементов.

Математическое описание синхронного генератора в осях d и q , можно представить в следующем виде:

$$U_d = -R_a I_d + \frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q \Omega, \quad (1)$$

$$U_q = -R_a I_q + \frac{d\psi_q}{dt} + \psi_d \Omega, \quad (2)$$

$$U_f = R_f I_f + \frac{d\psi_f}{dt}, \quad (3)$$

$$\psi_d = (-L_{ad} I_d + M_{afd} I_f) - L_{as} I_a, \quad (4)$$

$$\psi_q = (-L_{aq} I_q) - L_{as} I_a, \quad (5)$$

$$\psi_f = \left[-\frac{3}{2} M_{afd} I_d + (L_f - L_{fs}) I_f \right] + L_{fs} I_f, \quad (6)$$

где ψ_d, ψ_q - потокосцепление фаз статора по продольной и поперечной осям; ψ_f - потокосцепление контура возбуждения; U_d, U_q, I_d, I_q - составляющие напряжения и тока статора по продольной и поперечной осям.

Уравнение движения СГ имеет вид:

$$\begin{aligned} M_a \frac{d\Omega}{dt} + \frac{3}{2} (\psi_q I_d - \psi_d I_q) \\ J_i \frac{d\omega_i}{dt} = M_o + M_k \end{aligned} \quad (7)$$

где J_e - момент инерции; ω_k - угловая скорость ротора турбокомпрессора; $M_o = M_o(\omega, \omega_e, \hat{A}_+)$ - крутящий момент; ω - угловая скорость вала двигателя; B_u - часовой расход топлива двигателя; $M_k = M_k(Q, \omega_k)$ - момент сопротивления компрессора; Q - расход воздуха через компрессор.

Согласно расчетам, воздействие данных величин на переходные электромеханические процессы в статоре генератора несущественно и ими дозволено пренебречь при последующем рассмотрении. Проведенные расчеты также демонстрируют, что воздействие указанных величин, при индуктивной нагрузке крайне мало, а при энергичной нагрузке проявляется лишь в течении маленьких промежутков времени.

Уравнения для цепи нагрузки имеют вид:

$$i_d = \frac{\cos \varphi}{|Z_n|} U_d + \frac{\sin \varphi}{|Z_n|} U_q, \quad i_q = -\frac{\sin \varphi}{|Z_n|} U_d + \frac{\cos \varphi}{|Z_n|} U_q, \quad (8)$$

Дифференциальные уравнения ГУ с учетом особенностей ее работы представим в виде системы уравнений движения двигателя следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} J_k \frac{d\omega_k}{dt} &= M_T - M_k, \\ \frac{d(\omega + \varepsilon(t))}{dt} &= M_i - M_{п} - M_n, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где J_k - момент инерции; ω_k - угловая скорость ротора; $M_T = M_T(\omega, \omega_k, B_u)$ - крутящий момент турбины; ω - угловая скорость вала двигателя; B_u - часовой расход топлива двигателя; $M_k = M_k(Q, \omega_k)$ - момент сопротивления компрессора; Q - расход воздуха через компрессор; J - момент инерции вращающихся частей двигателя; ε - девиация угловой скорости коленчатого вала; $M_i, M_{п}$ - индикаторный момент и момент потерь двигателя; M_n - момент нагрузки на валу двигателя. Учитывая зависимость M_i и $M_{п}$ от фигурирующих

аргументов $[\omega, \omega_k, B_{\text{ч}}]$. При определении M_i учитываем время t и первый коэффициент технического состояния $K_{1\text{ТС}}$, а при определении $M_{\text{П}}$ – второй коэффициент $K_{2\text{ТС}}$ технического состояния установки.

Таким образом,

$$M_i = M_i(B_{\text{ч}}, h_i, \omega, t, K_{1\text{ТС}}); M_{\text{П}} = M_{\text{П}}(\omega, K_{2\text{ТС}}). \quad (10)$$

В выражениях (10) коэффициент $K_{1\text{ТС}}$ зависит непосредственно от качества работы топливной системы и компрессии в цилиндрах. Коэффициент $K_{2\text{ТС}}$ будет определяться потерями на насосных ходах, вентиляционных потерях, а также потерями на трение в подшипниках. В процессе составления дифференциальных уравнений (11-12) комплексной ДГУ преобразовываем их так, чтобы в одной части уравнений были параметры управления, а в иной – выходные координаты.

$$\frac{d\omega}{dt} = f_1(\omega, \omega_k, h_p, Q, Q_{\text{д}}, M_{\text{н}}) = b_1 + b_2 Q_{\text{д}} + b_4 h_p Q_{\text{д}} + b_5 (h_p)^2 + b_6 (h_p)^2 Q_{\text{д}} + b_1 \theta + b_2 h_p \theta + b_3 Q_{\text{д}} \theta + b_4 \theta^2 + b_5 Q_{\text{д}} \theta^2 + b_6 h_p \theta^2 \quad (11)$$

$$\frac{d\omega_k}{dt} = f_2(\omega, \omega_k, h_p, Q_{\text{д}}) = b_7 + b_8 Q_{\text{д}} + b_9 h_p Q_{\text{д}} + b_{10} (h_p)^2 + b_6 (Q_{\text{д}})^2 h_p + b_{11} (Q_{\text{д}})^2 h_p + b_{12} h_p \quad (12)$$

Математическая модель разработана по модульному принципу из таких основных элементов (блоков), как: газопоршневой двигатель, синхронный генератор с системой возбуждения и потребитель. Модель газопоршневой установки, представленная на рисунке 2, реализована в среде MATLAB с пакетом расширения Simulink. Данный программный продукт позволяет осуществлять имитационное моделирование сложных схем с высокой результативностью, обладая при этом хорошей наглядностью. Каждый блок модели описывается системой дифференциальных и алгебраических уравнений, имея при этом простую настройку технических параметров.

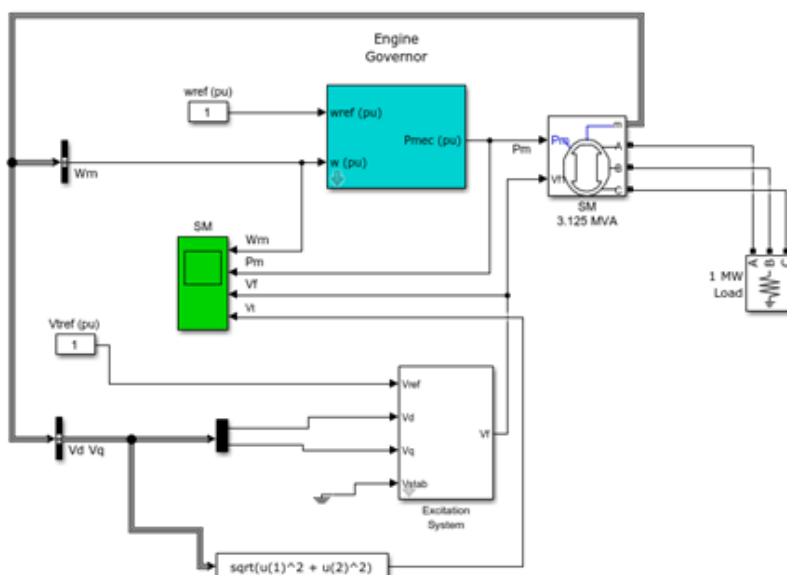


Рисунок 2 - Модель газопоршневой установки в Matlab

В качестве исследуемых параметров выбраны обороты двигателя, и время, за которое обороты приходят в норму. Для более глубокого анализа, во время установившегося процесса, скачком изменялись частота оборотов и опорное напряжение в диапазоне 20% от номинального значения.

В связи с тем, что переходные процессы системы заканчиваются приблизительно на 2 секунде, то для наглядности дополнительный сигнал подан начиная с 4 секунды работы газопоршневой установки.

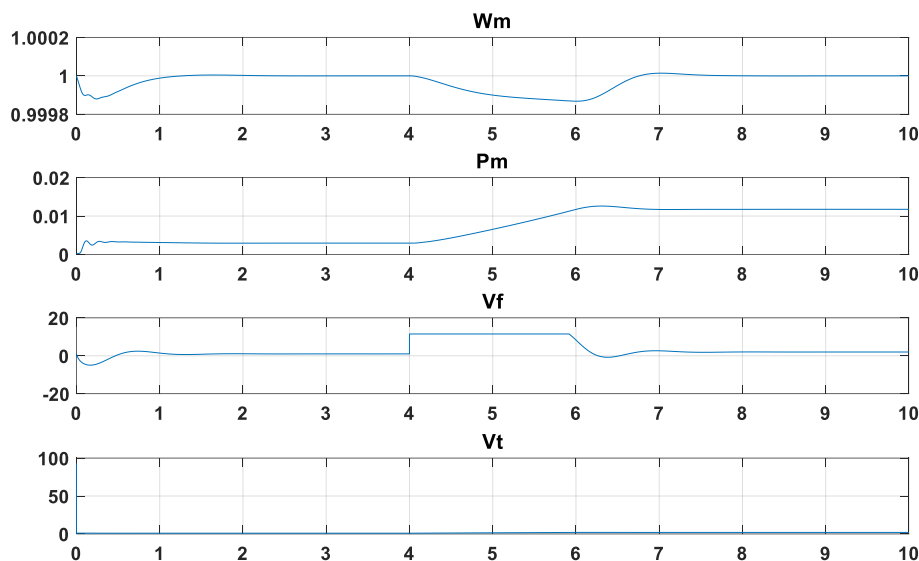


Рисунок 3 –Графики модельных переходных процессов в системе ГПА - ЭЭС

График на рисунке 3 показывает влияние коэффициентов регулятора усилителя двигателя при скачке напряжения, основываясь на котором можно сделать вывод, что коэффициент регулятора усиления двигателя имеет влияние только в начале запуска системы, и не столь существенное влияние при скачке напряжения на 20%. При увеличении коэффициента регулятора, переходный процесс в мощности имеет колебательный характер. Уменьшение же коэффициента, приводит к увеличению перерегулирования переходного процесса частоты оборотов. Также график показывает, что время, которое требуется для регулирования оборотов в норму, занимает около 3 секунд, что является не лучшим результатом работы системы.

Выводы.

В статье проведено исследование системы управления газопоршневой установки в составе электроэнергетической системы, использующей два независимых контура управления: скоростью и напряжения.

По результатам исследования и полученным графикам видно, что переходные процессы в системе занимают около 3 сек, что является не лучшим результатом, и в случае использования данных систем на предприятиях с резкими скачками напряжения, система управления не справится с поставленной задачей.

Необходимо составить новую систему управления, которая позволит добиться лучших результатов. Новая система должна учитывать взаимодействие системы с различными крупными установками, такими, как сталеплавильная печь, которая при активации может несколько раз делать сильный набор и сброс напряжения. Также желательно уменьшить перерегулирование.

Перечень ссылок

1. Гольдинер, А.Я. Газопоршневые электроагрегаты. / А.Я. Гольдинер, М.И. Цыпкин, В.В. Бондаренко/- Санкт-Петербург: Аллея Принт,2006. 240 с.
2. Беляев, А.Н. Исследование пусковых режимов асинхронных двигателей в автономных электроэнергетических системах с газопоршневыми агрегатами // А.Н. Беляев, Н.А. Кальм, С.В. Смолвик// Электрика. 2012.№ 11. С. 30–35.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ НАГРЕВА НАСАДКИ В ДОМЕННОМ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕ

Мавродий С.Д., студент; Жукова Н.В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Актуальность темы. Варианты интенсификации теплообмена в каналах насадки рассмотрены в различных источниках [1 - 3], связанные с изменением конструктивных ее особенностей. А также разработаны методы оптимизации процесса нагрева воздухонагревателей, в основе которых лежат модели теплообмена, по которым формулируют экономичные режимы работы воздухонагревателей. Таким образом, анализируя научные работы по проблемам оптимизации режимов нагрева доменных воздухонагревателей, можно сделать вывод, что основными способами повышения скорости и снижения продолжительности нагрева насадки регенеративного теплообменника горячими газами являются следующие факторы:

- увеличение удельной площади поверхности нагрева насадки;
- увеличение интенсивности теплоотдачи от газа к насадке;
- увеличение количества газа-теплоносителя и, соответственно, количества теплоты, вносимой в насадку, в единицу времени.

Дальнейший анализ способов оптимизации работы доменных воздухонагревателей (ДВН) показал, что, по мнению Койфмана А.А. [4], одним из путей интенсификации теплообмена является увеличение давления газа-теплоносителя и давления в рабочем пространстве воздухонагревателя во время нагрева насадки. Известно, что при увеличении таких физических свойств как теплопроводность, теплоемкость, плотность теплоносителя, увеличивается коэффициент теплоотдачи. В существующих воздухонагревателях имеется реальная возможность использовать для сжигания доменный газ с избыточным давлением от 12 до 100 кПа и более, например, после сухой газоочистки колошникового газа. В этом случае увеличится массовый расход газа-теплоносителя при неизменных скорости газового потока и гидравлическом сопротивлении насадки, что за счет увеличения теплоты продуктов сгорания в единицу времени интенсифицирует теплообмен и обеспечивает сокращение продолжительности периода нагрева [4].

На основании решений, представленных в [4], разработаны технические решения по реконструкции системы подогрева насадки. Автор предлагает отбирать доменный газ, идущий на нагрев насадки, после сухой газоочистки до дроссельной группы, поддерживающей давление на колошнике доменной печи. При такой схеме отбора избыточное давление доменного газа на входе в горелку воздухонагревателя можно поддерживать до 100 – 140 кПа. Автором разработана схема газового хозяйства доменной печи [4] для варианта работы воздухонагревателей, работающих под давлением в режиме нагрева насадки (рис. 1).

Газовое хозяйство доменной печи 1 (рис. 1) с воздухонагревателями 2, работающими под повышенным давлением при нагреве насадки, включает: газоотводы колошникового газа доменной печи 3, грубую газоочистку - пылеуловитель 4, полутонкую очистку доменного газа -скруббер 5, дроссельную группу 6, обеспечивающую повышенное давление в доменной печи, тракт холодного дутья 7 от воздуходувной машины к воздухонагревателям 2, тракт горячего дутья 8 от воздухонагревателей 2 к доменной печи 1, кольцевой воздуховод 9 с фурмами доменной печи, газопровод получистого доменного газа 10 до межконусного пространства доменной печи, газопровод получистого доменного газа 11 к воздухонагревателям, дополнительный электрофильтр 12 для очистки получистого доменного газа, подаваемого на воздухонагреватели, воздуховод холодного дутья 13 к горелкам воздухонагревателей, регулятор давления воздуха 14, горелки воздухонагревателей

15, газопроводы дымового газа 16 от воздухонагревателей с группами дроссельных клапанов 17, дымовой боров 18 и дымоход 19.

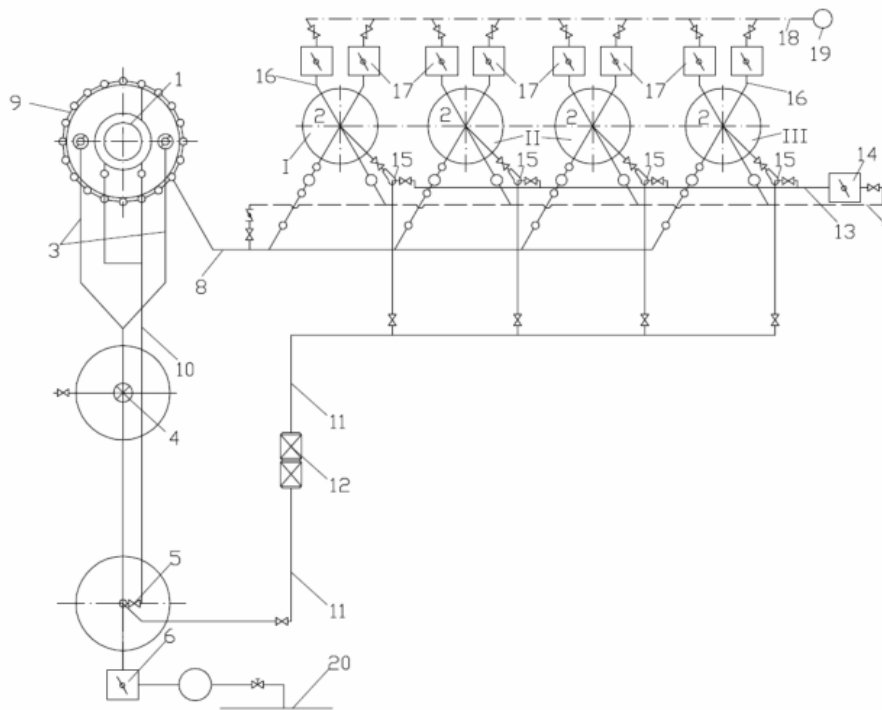


Рисунок 1 – Схема газового хозяйства доменной печи

Газовая система доменной печи 1 полезным объемом 2000 м^3 работает следующим образом. Холодное дутье с температурой $140 - 150 \text{ }^\circ\text{C}$ и содержанием кислорода 25% подают под избыточным давлением 290 кПа с расходом, приведенным к нормальным условиям, $100 \text{ м}^3/\text{с}$ ($6000 \text{ м}^3/\text{мин}$) по тракту холодного дутья 7 от воздуходувной машины. Часть подаваемого дутья в количестве $63 \text{ м}^3/\text{с}$ ($3800 \text{ м}^3/\text{мин}$) направляют в воздухонагреватель I, где его температура повышается до $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Горячее дутье (по тракту горячего дутья) 8 направляют в кольцевой воздухопровод 9 и через фурмы вдувают в доменную печь 1 под избыточным давлением 280 кПа . Оставшуюся часть подаваемого дутья в количестве $37 \text{ м}^3/\text{с}$ ($2200 \text{ м}^3/\text{мин}$) дутья отводят по воздуховоду 13 к горелкам 15 двух воздухонагревателей II. При этом давление холодного воздуха с помощью регулятора давления 14 снижают до 120 кПа . В результате горения топлива в доменной печи и протекания химических реакций, необходимых для получения чугуна, объем газов в доменной печи увеличивается до $88 \text{ м}^3/\text{с}$ ($5300 \text{ м}^3/\text{мин}$). Перепад давления газа в доменной печи составляет 120 кПа . Доменный газ с избыточным давлением 160 кПа , содержанием пыли $50 - 60 \text{ г}/\text{м}^3$ и температурой $200 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$ отводят из доменной печи 1 по газоотводу 3 до пылеуловителя 4. После очистки в пылеуловителе содержание пыли в доменном газе снижается до $1 - 3 \text{ г}/\text{м}^3$. С пылеуловителя 4 доменный газ направляется в скруббер 5 для мокрой очистки. Содержание пыли в нем снижается до $0,1 - 0,5 \text{ г}/\text{м}^3$, а температура уменьшается до $50 - 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Избыточное давление доменного газа после скруббера составляет 150 кПа . После скруббера $52 \text{ м}^3/\text{с}$ ($3100 \text{ м}^3/\text{мин}$) доменного газа отводят по газопроводу 11 к горелкам 15 воздухонагревателей 2. Оставшиеся $36 \text{ м}^3/\text{с}$ ($2200 \text{ м}^3/\text{мин}$) доменного газа проходят дроссельную группу 6, после которой давление доменного газа близко к атмосферному, а содержание пыли снижается до $0,005 - 0,01 \text{ г}/\text{м}^3$. Очищенный доменный газ поступает в газовую сеть 20 металлургического комбината для дальнейшего использования в качестве низкокалорийного топлива. $52 \text{ м}^3/\text{с}$ ($3100 \text{ м}^3/\text{мин}$) получистого доменного газа с избыточным давлением 150 кПа по газопроводу 11 поступает к дополнительному электрофильтру 12. После электрофильтра доменный газ с низким содержанием пыли $0,01 - 0,02 \text{ г}/\text{м}^3$ под избыточным давлением 120 кПа поступает на горелки 15 воздухонагревателей 2, работающих в режиме нагрева насадки II. Обогащенное

кислородом дутьё и доменный газ, поступающие с одинаковым избыточным давлением 120 кПа, смешиваются в горелках. Раскаленные продукты горения нагревают насадку воздухонагревателей и оставляют их по газопроводам дымового газа 16.

Группы дроссельных клапанов 17 поддерживает постоянное повышенное давление 110 кПа в воздухонагревателях II. После групп дроссельных клапанов 17 давление дымовых газов близко к атмосферному. Отработанные дымовые газы в количестве $78 \text{ м}^3/\text{с}$ ($4700 \text{ м}^3/\text{мин}$) отводят дымовым трактом 18 и выбрасывают в атмосферу через дымоход 19. После использования тепла, аккумулированного насадкой воздухонагревателя I, его переводят в режим нагрева насадки, а перед этим один из воздухонагревателей II переводят в режим нагрева дутья. В режиме нагрева дутья избыточное давление в воздухонагревателе составляет 290 кПа, а в режиме нагрева насадки - 110 кПа. Таким образом, в воздухонагревателях и в режиме нагрева насадки, и в режиме нагрева дутья поддерживается повышенное давление.

Таким образом, следуя вышеописанной в [4] идее повышения скорости нагрева насадки и сокращения, времени ее нагрева, имеет смысл определить информационные параметры по управлению режимом нагрева насадки, регулируя которые можно обеспечить поддержание требуемого избыточного давления газа теплоносителя и требуемое избыточное давление в рабочем пространстве теплообменника в режиме нагрева насадки.

Рассмотрим технологический процесс нагрева в доменном воздухонагревателе как объект управления с точки зрения основных материальных потоков и их информационных переменных (рис. 2).

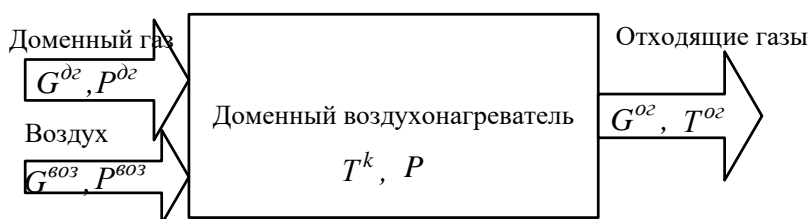


Рисунок 2 – Анализ процесса нагрева в доменном воздухонагревателе как объекта управления с точки зрения материальных потоков и их информационных переменных

При анализе технологического процесса нагрева в ДВН как объекта управления имеет смысл рассмотреть основные задачи автоматического регулирования вышеназванным объектом. Задачей автоматического регулирования теплового режима ДВН является полное и экономическое сжигание топлива, нагрев насадки до заданной температуры с ограничением предельной температуры купола и дымовых газов для предотвращения размягчения огнеупоров и деформации поднасадочных колонн, автоматическое переключение с нагрева на дутьё и наоборот.

При автоматическом регулировании нагрева ДВН ограничивающими факторами служат температура купола, верхних рядов огнеупорной кладки насадки и подпорных поднасадочных колонн. Главной целью автоматического регулирования теплового режима является нагрев насадки за минимально возможное время до заданной температуры с учетом перечисленных ограничений. Заданная температура купола (основное ограничение) достигается регулированием соотношения газ - воздух изменением количества воздуха при постоянном расходе газа. Такой способ обеспечивает форсированный нагрев насадки, экономное сжигание топлива и точное по величине ограничение предельной температуры купола увеличением избытка воздуха.

Из рис.2 следует, что входными потоками в теплообменник регенеративного типа являются потоки доменного газа и воздуха, которые характеризуются такими информационными переменными как расход и давление $G^{dз}, G^{вoз}, P^{dз}, P^{вoз}$. Внутри рабочего пространства воздухонагревателя смесь газа с воздухом сжигается, обеспечивая необходимый нагрев насадки, с учетом ограничений на температуру купола T^k и

температуру отходящих газов T^{o2} . Процесс нагрева должен проходить при повышенном избыточном давлении P в рабочем пространстве камеры воздухонагревателя.

Методика решения задачи. Рассмотрим концепцию построения данной системы автоматического регулирования в режиме нагрева насадки (рис.3).

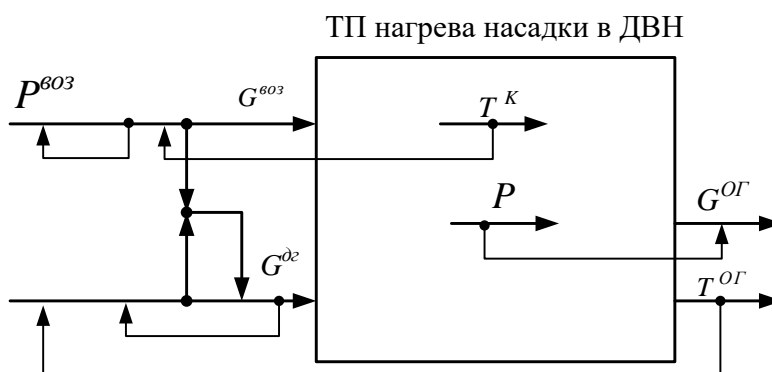


Рисунок 3 – Концепция построения САУ режимом нагрева насадки в ДВН

Из рис.3 следует, что система автоматического регулирования процессом нагрева включает несколько контуров регулирования:

- регулирование соотношения доменный газ – воздух за счет расхода доменного газа G^{o2} с учетом ограничений по температуре купола T^k и температуре отходящих газов T^{o2} ;
- регулирование температуры купола T^k за счет расхода воздуха;
- регулирование температуры отходящих газов T^{o2} (косвенный способ регулирования температуры нижней части насадки) за счет расхода доменного газа G^{o2} ;
- стабилизация повышенного избыточного давления воздуха P^{603} , подаваемого в воздухонагреватель, за счет его расхода;
- стабилизация повышенного избыточного давления в рабочем пространстве воздухонагревателя P за счет расхода отходящих газов $G^{oГ}$.

Выводы. Выполнено обоснование выбранного направления решения задачи автоматизации. Реализация заявленной концепции построения САУ должна сократить время нагрева насадки воздухонагревателя с 7700 с (2,15 ч) до 3924 с (1,09 ч) при условии, если процесс нагрева будет проходить при повышенном избыточном давлении теплоносителя 120 кПа и повышенном давлении в рабочем пространстве ДВН, равном 110 кПа.

Перечень ссылок

1. Грес Л.П. Энергосбережение при нагреве доменного дутья / Л.П. Грес. –Д.: Пороги, 2004. – 209 с.
2. Калугин Я.П. Перспективный высокотемпературный воздухонагреватель для доменных печей / Я.П. Калугин // Бюллетень «Черная металлургия». – 2001. – №4. – С. 28–30.
3. Калугин Я.П. Разработка высокотемпературных воздухонагревателей с длительным сроком службы / Я.П. Калугин, Б.Н. Прокофьев, В.М. Рудник // Сталь. – 2000. – №3. – С. 15–18.
4. Койфмана А.А. Повышение эффективности работы доменных воздухонагревателей путем увеличения давления газа-теплоносителя. /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.16.02 – Металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СООТНОШЕНИЕМ «ГАЗ-ВОЗДУХ» ДЛЯ ОБЖИГА КИРПИЧА В ТОНЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Маричев Д.В., студ.; Найденова Т.В., асс.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР»)

Введение.

В производстве керамического кирпича наиболее сложным, энергоемким и ответственным процессом является обжиг, так как именно во время него окончательно формируются свойства кирпича, определяющие понятие - качество готовой продукции. Кроме того, что обжиг является основным потребителем тепловой энергии, он также становится и источником теплового загрязнения окружающей среды. Необходимо отметить, что процесс обжига включает как измеряемые механические и гидрофизические показатели (прочность, морозостойкость и водопоглощение), так и визуальные дефекты (трещины, оплавление, пережог). Поэтому важнейшим условием экономичной, высокопроизводительной и высококачественной тепловой обработки изделий строительной керамики является строгое соблюдение установленного теорией и практикой теплового режима, т.е. определенное распределение температуры, влажности, состава газов теплоносителя, а также скорости его движения в агрегате. Эта задача может быть решена путем усовершенствования систем управления технологическими процессами, в частности обжига, который находится в конце производственного цикла получения кирпича. Для осуществления технологических процессов обжига требуется постоянный контроль температуры и давления в каждой зоне печи и воздуховода. С качеством продукции коррелируют значения температур и давления. Эти значений могут меняться в зависимости от климатических условий или других факторов. В связи с этим, существует необходимость оперативного контроля указанных параметров и анализ их величин за предыдущее время, во время которого осуществляется процесс. Эти задачи решаются посредством современного оборудования и автоматики. Поэтому рациональная организация составляющих процессов, автоматизация управления обжигом с использованием современных методов, средств и технологий является актуальной задачей.

Краткое описание технологического процесса.

На рисунке 1 схематично изображена туннельная печь для обжига керамических стеновых изделий.

Туннельная печь работает следующим образом. В рабочий канал 1 туннельной печи на некотором расстоянии от конца зоны охлаждения подают атмосферный воздух вентилятором 3. Вентилятором 2, установленным в конце зоны охлаждения, отбирают теплоноситель и направляют к вентилятору 3 подачи атмосферного воздуха. За счет создаваемого перепада давлений воздух движется в противотоке с изделиями в сторону зоны обжига и в прямотоке к выгрузочному концу, и таким образом создают давление в конце зоны охлаждения, равным давлению в цехе. Это позволяет создать в зоне охлаждения оптимальный аэродинамический режим и отказаться от металлических дверей на выгрузочном конце печи. Системой отопления 4 в зону обжига подают газ, при сгорании которого нагреваются изделия до оптимальной температуры. Дымовые газы отбирают вентилятором 5, установленным перед зоной сушки, и выбрасывают в атмосферу.

Обычно перед вентилятором 5 отбора дымовых газов установлен регулирующий клапан 12 с редуктором 13 и электрическим двигателем 14, который входит в систему автоматического регулирования разрежения и поддерживает в зоне обжига туннельной печи значение разрежения в пределах 25-40 Па. Отопительная система 4 содержит форсунки, через которые поступает природный газ в зону горения. Для эффективного сжигания

природного газа через каналы в форсунках в зону горения природного газа подается воздух из атмосферы.

Во время процесса обжига вагонетки через определенные промежутки времени, непрерывно, друг за другом, перемещаются в туннельной печи. В течение этого времени происходит равномерный прогрев кирпичей за счет нагретого воздуха, потом выполняется непосредственный обжиг изделий, а в завершающей стадии осуществляется постепенное охлаждение обжигаемой продукции, находящейся в вагонетках. На протяжении всех стадий обработки кирпича, при помощи термопар, контролируется температура в каждой зоне туннельной печи. При ее падении ниже допустимой нормы, на соответствующую горелку подается больше газа, а также увеличивается подача воздуха на горение.

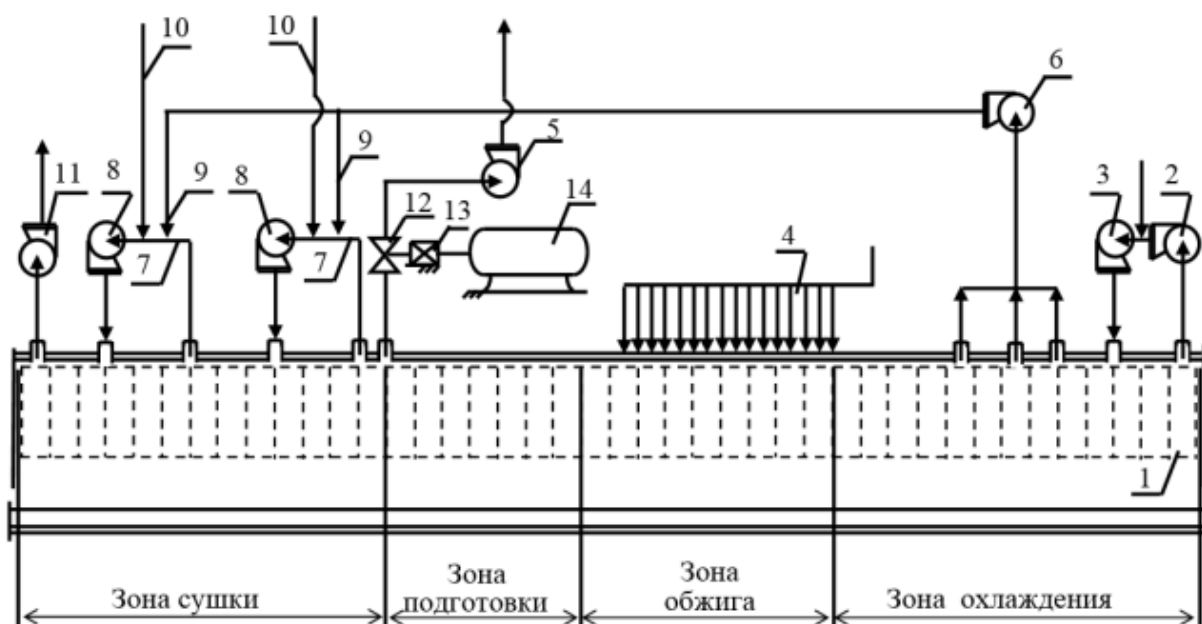


Рисунок 1 - Туннельная печь для обжига кирпича

В конце зоны сушки расположен первый блок вентиляционной системы 7. Вентилятором 8 отбирают теплоноситель, движущийся в прямоотке с изделиями, смешивают с атмосферным воздухом, поступающим через трубопровод 10, и с горячим воздухом, который по трубопроводу 9 отбирают вентилятором 6 из зоны охлаждения и нагнетают в зону сушки против хода изделий. Использование предложенной вентиляционной системы позволяет в зоне сушки создать циркуляцию теплоносителя в противотоке и прямоотке с движением изделий. Теплоноситель, движущийся от первого блока 7 в противотоке, поступает ко второму блоку 7, где вентилятором 8 отбирают теплоноситель из зоны сушки, смешивают через трубопровод 10 с атмосферным воздухом и трубопровод 9 с горячим воздухом из зоны охлаждения и нагнетают в рабочий канал так же против хода изделий. Число блоков 7 вентиляционной системы по длине зоны сушки и их габариты определяются сушильными свойствами, используемых глин и производительностью печи. После последнего блока вентиляционной системы теплоноситель отбирают вентилятором 11 и выбрасывают в атмосферу.

Формализация процесса соотношения «газ -воздух».

Автоматическое регулирование соотношения расходов газа и воздуха, подаваемых в печь, должно обеспечивать необходимые условия сжигания газа. Численно соотношение «газ – воздух» определяется так называемым коэффициентом расхода воздуха α .

Коэффициент расхода воздуха вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{F_{\text{в}}^{\text{д}}}{F_{\text{в}}^{\text{т}}} = \frac{F_{\text{в}}^{\text{д}}}{F_{\text{м}} V_{\text{в}}^{\text{т}}}, \quad (1.1)$$

где $F_{\text{в}}^{\text{д}}$ – действительный расход воздуха;

$F_{\text{в}}^{\text{т}}$ – теоретический расход воздуха, необходимый для полного сжигания газа;

$V_{\text{в}}^{\text{т}}$ – теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сжигания единицы газа;

$F_{\text{м}}$ – расход газа.

Анализ формулы (1.1) показывает, что для точного определения коэффициента расхода воздуха необходимо точное знание расходов газа и воздуха, а также состава газа, так как от последнего зависит величина $V_{\text{в}}^{\text{т}}$.

Если газ сжигается с $\alpha=1$ и при идеальном смешении с воздухом, то развивается максимальная калориметрическая температура горения.

При $\alpha < 1$ часть газа не сгорает из-за недостатка кислорода и максимальная температура не достигается.

При $\alpha > 1$ газ сгорает полностью, но часть выделяющегося при этом тепла идет на нагрев излишнего воздуха и максимальная температура горения также не достигается. Справедливость рассуждений о качественных изменениях теоретической калориметрической температуры горения, т.е. температуры, развиваемой при полном сгорании газа и без теплообмена продуктов сгорания с окружающей средой, сохраняется и для реальных температур, получаемых в рабочих пространствах туннельной печи.

Максимум реальной температуры сгорания имеет место при значениях α , несколько больших единицы, из-за того, что в условиях не идеального, а реального смешения газа и воздуха полное сгорание требует некоторого избытка воздуха. Уровень реальных температур несколько ниже из-за теплообмена факела с окружающей средой. Из исследований также следует, что изменением коэффициента расхода воздуха можно регулировать температуру горения; последняя уменьшается с увеличением α .

Как показывают исследования, при сжигании газообразного газа в различных реальных печах максимальная температура достигается при $\alpha=1,05-1,15$, а при сжигании жидкого газа – при $\alpha=1,15-1,25$.

Контроль процесса сжигания может осуществляться по результатам анализа продуктов сгорания. Коэффициент расхода воздуха для бессернистого газа вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{O_2 - 0,5(CO - H_2) - 2CH_4}{N_2}}, \quad (1.2)$$

где O_2, CO, H_2, CH_4, N_2 – соответственно содержание газов в продуктах сгорания;

3,76 – коэффициент, равный отношению содержания азота и кислорода в воздухе.

При полном сгорании газа формула (1.2) превращается в выражение вида:

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{O_2}{N_2}}. \quad (1.3)$$

Анализ формул показывает, что для контроля коэффициента расхода воздуха при неполном сгорании газа необходимо проводить анализ покидающих печь продуктов сгорания на O_2, CO, H_2, CH_4, N_2 . При полном сгорании достаточно осуществлять анализ лишь на O_2 и CO .

Таким образом, регулируемые параметрами газоздушного тракта зоны обжига туннельной печи являются (рис. 2):

- отклонение от номинального значения концентрации кислорода ΔQ_{O_2} и угарного газа ΔQ_{CO} в продуктах горения;
 - коэффициент расхода воздуха α .
- Управляющими воздействиями:
- изменение расхода воздуха $\Delta F_{\text{в}}$.
- Основным внешним возмущающим воздействием выступает:
- изменение расхода газа ΔF_m ;
 - изменение качественного состава газа ΔQ_m .



Рисунок 2 – Система соотношения «газ воздух» как объект управления

Выводы.

1. Проведенный анализ технологий производства керамического кирпича показал, что независимо от способа производства, главным агрегатом для обжига кирпича, является туннельная печь, поэтому рациональная организация тепловых процессов в туннельной печи является актуальной задачей.
2. Сложность процесса поддержания требуемого расхода воздуха для экономичного сжигания газа, неопределенность большинства параметров и их взаимосвязей, указывают на целесообразность использования методов имитационного моделирования.
3. Проанализированы основные используемые способы взаимного регулирования расходов воздуха и газа, подаваемых в горелочные устройства.

Перечень ссылок

1. Баумштейн И.П. Автоматизированные системы управления тепловыми процессами в керамической и стекольной промышленности. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1979. – 88 с.
2. Воликов А.Н., Новиков О.Н., Окатьев А.Н. Энергоэкологическая эффективность сжигания газового и жидкого газа в котлах малой и средней мощности // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6610> (дата обращения: 30.10.2018).
3. Горбунов А.И., Ульшин В.А. Анализ технологических процессов производства керамического кирпича как объектов автоматизации. // Вісник СНУ ім. В.Даля №5 (123) частина 2 – 2008 – С. 131-139.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДКАЧИВАЮЩЕЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ

Милютин А.В., магистрант; Суков С.Ф., проф., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Как известно, нагрузка центробежных и осевых насосов, вентиляторов и других механизмов аналогичного типа называется вентиляторной нагрузкой. Статический момент в подобных механизмах зависит от скорости вращения рабочего колеса во второй степени. Для вывода зависимости момента сопротивления на валу двигателя от его скорости вращения необходимо иметь характеристики трубопровода, математические выражения и характеристики насоса.

Основными параметрами насоса являются подача и напор. Подачей Q называется объём жидкости, подаваемый насосом в единицу времени. Напор H определяется как разность содержания энергии в 1кг жидкости (удельной энергии) на участке от входа в насос до выхода из него.

Гидравлическая сеть и насос — это инерционные звенья, которые могут быть представлены апериодическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{нас}}(p) = \frac{k_{\text{нас}}}{T_{\text{нас}}p+1} \quad (1)$$

где $k_{\text{нас}}$ — коэффициент преобразования насоса, $T_{\text{нас}}$ — постоянная времени насоса.

Так как насос является нелинейной сложной системой, а работа происходит при малых отклонениях, линеаризуется его коэффициент передачи.

Значение $T_{\text{нас}} = 0,001$ с [2]. Поэтому, при синтезе системы такой малой постоянной времени допустимо пренебречь и считать насос безынерционным звеном: $W_{\text{нас}}(p) = k_{\text{нас}}$

Модель насоса будет иметь вид, показанный на рис.1.

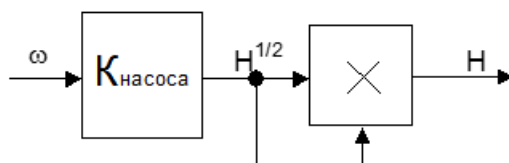


Рисунок 1 – Модель насоса

В состав преобразователя частоты со звеном постоянного тока входит управляемый фильтр, автономный инвертор напряжения и выпрямитель.

Транзисторный преобразователь представляет собой нелинейный дискретный динамический объект с ограниченной управляемостью, однако можно говорить, что специфика частотного преобразователя, как нелинейного объекта, не оказывает существенного влияния на работу системы. Частота среза контура регулирования, в котором он находится, значительно ниже частот, существенных для динамики транзисторного преобразователя, при этом время переходных процессов в системе заметно превышает период дискретизации системы. Зачастую, выпрямитель представляют в виде апериодического звена с постоянной времени T_{μ} и коэффициентом передачи $K_{\text{пч}}$, при разработке систем управления электроприводами, а инвертор, как безынерционное звено $K_{\text{и}}$.

Для синтеза регуляторов системы управления будет использоваться линеаризованная модель преобразователя частоты (рис. 2).

Для получения более точного представления о протекании переходных процессов будет проведено исследование динамики системы ПЧ-АД при использовании эквивалентной двухфазной модели двигателя в векторной форме.

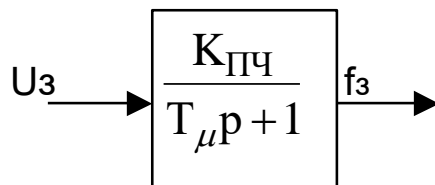


Рисунок 2 – Линеаризованная модель преобразователя частоты

Математическое описание процессов преобразования энергии в асинхронном двигателе осуществляется при питании его от сети. Преобразование энергии в этом двигателе представляет собой сложную задачу в связи с существенной нелинейностью уравнений, обусловленной произведением переменных [2].

В качестве приводного двигателя насосного агрегата используется трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Рабочий режим приводного электродвигателя можно изменять различными способами [1]. Наиболее экономичным способом управления асинхронным электродвигателем является изменение частоты питающего напряжения. Исходя из этого способа управления, определяются передаточные функции, математическое описание и структурная схема модели приводного электродвигателя $W_{эд}(p)$. Следует учесть, что механическая характеристика имеет нелинейный характер, но для малых приращений уравнение можно линеаризовать на рабочем участке механической характеристики. Таким образом, на рабочем участке механической характеристики асинхронный двигатель описывается следующими передаточными функциями:

$$\frac{\overline{\Delta M}(p)}{\overline{\Delta w}(p)} = \frac{-h_u}{(T_{эл} \cdot p + 1)} ; \quad (2)$$

$$\frac{\overline{\Delta w}(p)}{\overline{\Delta M}(p) - \overline{\Delta M}_c(p)} = \frac{1}{T_m \cdot p} ; \quad (3)$$

где $h_u = \frac{2 \cdot M_k}{w_{1ном} \cdot s_k}$, $T_{эл} = \frac{1}{w_{1ном} \cdot s_k}$, $T_m = J$, M_k – критический момент, s_k –

критическое скольжение, $w_{1ном}$ – угловая частота статора при номинальной частоте питающего напряжения $f_{1ном}$, J – момент инерции.

Если центробежный насос является нагрузкой для ротора электродвигателя, то:

$$\overline{\Delta M}_c(p) = \frac{\Delta Q(p) \cdot \Delta P(p)}{\Delta w_2(p)} \quad (4)$$

$\Delta Q(p)$ – изменение подачи насоса, $\Delta P(p)$ – давление нагнетателя, $\Delta w_2(p)$ – круговая частота вращения насосного вала.

Используя полученные уравнения (2) и (3), получаем структурную схему модели приводного электродвигателя, которая изображена на рис. 3.

Двигатель является трёхфазным, что осложняет математическое описание из-за увеличения числа уравнений, поэтому процессы в многофазных электрических машинах представляются в эквивалентной двухфазной модели этой машины. Условием адекватности является инвариантность мощности машины при преобразовании уравнений. При решении

задачи преобразования каждая реальная переменная двигателя – напряжение, потокосцепление, ток – представляется в виде вектора.

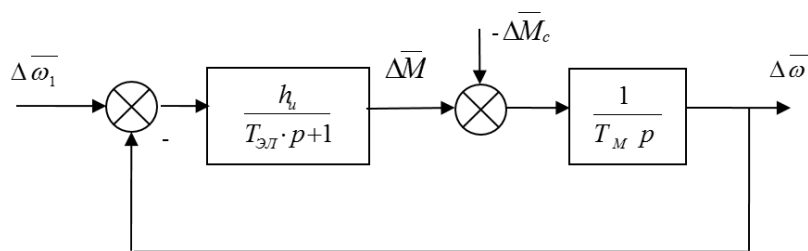


Рисунок 3 – Структурная схема асинхронного электродвигателя

При исследовании переходных процессов была использована среда MATLAB Simulink 9.1 R16b.

Проектируемая система представляет собой одноконтурную систему управления, с одним внешним контуром — контуром давления. Структурная схема такой системы представлена на рис 4.

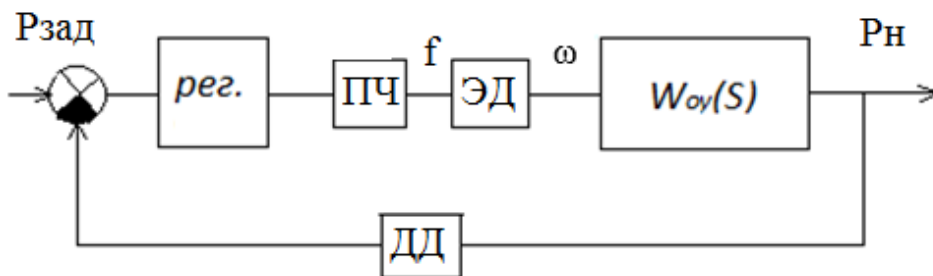


Рисунок 4 – Структурная схема электромеханической системы.

Схема состоит из:

- объекта управления (ОУ);
- регулируемого органа — асинхронный электродвигатель (ЭД);
- исполнительного механизма, которым является частотный преобразователь (ПЧ);
- датчика давления (ДД), который является отрицательной обратной связью объекта управления.

Задача данной автоматизированной системы управления состоит в поддержании заданного давления на выходе системы при возможном возмущении в определенный момент времени. Повышение давления происходит за счёт изменения частоты вращения колёс двигателя в насосе.

Требуемые показания качества объекта автоматического регулирования следующие:

- время регулирования — 5 с;
- допустимое перерегулирование — не более 5%;
- вид переходного процесса — апериодический переходной процесс;
- время отработки возмущения — 3 с.

Синтез контура регулирования давления будет проведён методом последовательной коррекции. Передаточная функция объекта регулирования (без регулятора и датчика давления) будет иметь вид:

$$W_o(p) = W_{\text{ПЧ}}(p) \cdot W_{\text{Д}}(p) \cdot W_{\text{НАС}}(p) \quad (5)$$

$$W_o(p) = \frac{k_{\text{ПЧ}} \cdot k_{\text{Д}} \cdot k_{\text{НАС}}}{(T_{\mu}p + 1) \cdot (T_{\text{М}}T_{\text{Э}}p^2 + T_{\text{М}}p + 1)} \quad (6)$$

Для синтеза регулятора давления будет использовано задание желаемой передаточной функции разомкнутой системы $W_{\text{р,жел}}(p)$, в которой компенсированы все большие постоянные времени объекта, исключая их из разомкнутого контура регулирования.

Аналогичным путём все коэффициенты усиления возможно исключить из разомкнутого контура регулирования, а для устранения статической ошибки ввести в него интегрирующий элемент с малой постоянной.

Таким образом, исходный разомкнутый контур регулирования удаётся заменить результирующим контуром, который имеет общий коэффициент усиления, но обладает астатизмом первого порядка и обеспечивает высокое быстродействие, благодаря малости постоянных времени, оставшихся некомпенсированными.

То есть, желаемая передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W_{p,жел}(p) = W_{pд}(p) \cdot W_o(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)} \quad (7)$$

Тогда передаточная функция регулятора будет иметь вид:

$$W_{pд}(p) = \frac{W_{p,жел}(p)}{W_o(p)} = \frac{\frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)}}{\frac{k_{пч} \cdot k_d \cdot k_{нас}}{(T_{\mu}p+1) \cdot (T_M T_{\varepsilon} p^2 + T_M p + 1)}} = \frac{(T_{\mu}p+1) \cdot (T_M T_{\varepsilon} p^2 + T_M p + 1)}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1) \cdot k_{пч} \cdot k_d \cdot k_{нас}}$$

$$W_{pд}(p) = \frac{(T_M T_{\varepsilon} p^2 + T_M p + 1)}{2T_{\mu}p \cdot k_{пч} \cdot k_d \cdot k_{нас}} \quad (8)$$

где T_{μ} – малая, некомпенсированная постоянная времени, $T_M = 0,025$ – электромеханическая постоянная времени двигателя, $T_{\varepsilon} = 0,022$ – электромагнитная постоянная времени двигателя.

Данная передаточная функция является пропорционально-интегральным регулятором (ПИ – регулятором) с соответствующими коэффициентами усиления пропорциональной $k_{п} = 0.0011$ и интегральной $k_{и} = 0.08$ частей регулятора (дифференциальная часть очень мала, что позволяет её пренебречь).

Для расчёта настроечных параметров регулятора применим инструментальные средства Matlab — блок PID Controller, в окне которого были подобраны коэффициенты [3].

Регулятор давления реализуем с помощью программного универсального пропорционально-интегрального регулятора, встроенного в преобразователь частоты. Проверкой результатов синтеза регулятора будет моделирование собранной структурной схемы системы в пакете MATLAB Simulink.

Проанализируем динамику системы автоматического управления по схеме моделирования (рис.5).

Переходная характеристика по давлению, основной выходной координате, приведена на рис.7.

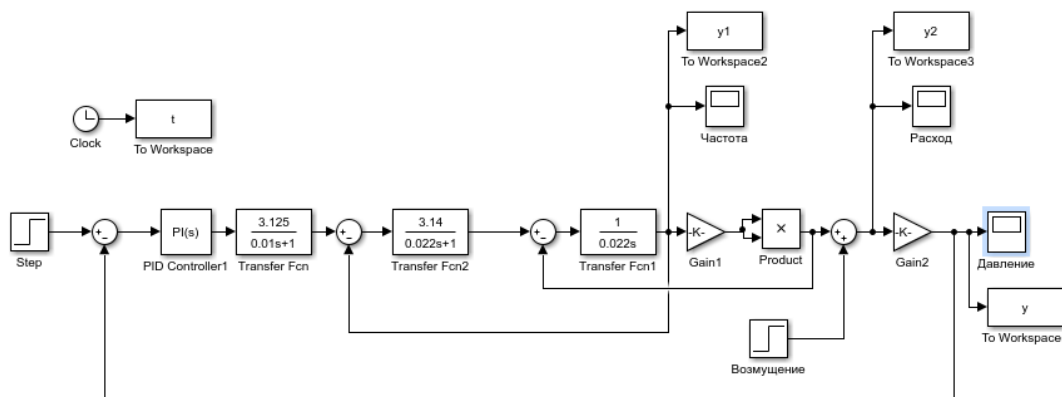


Рисунок 5 – Структурная схема модели САУ

Анализируя рис.6, можно сделать вывод, что время регулирования составляет менее 3 секунд, а перерегулирование отсутствует.

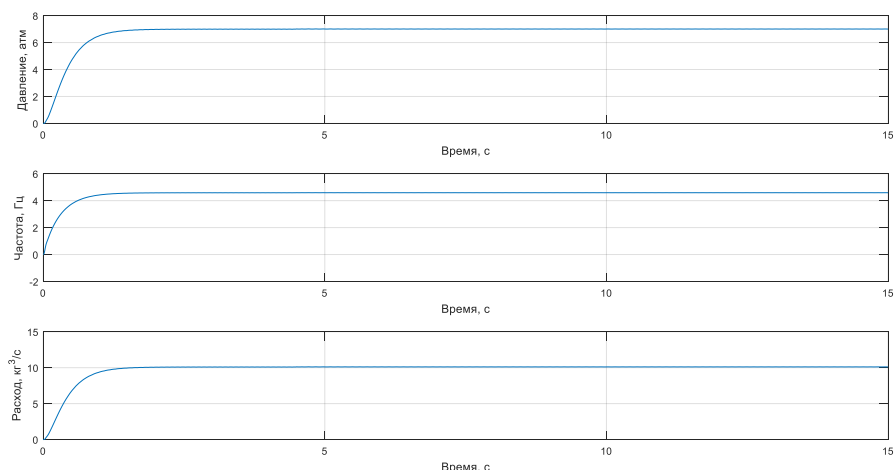


Рисунок 6 – Переходная характеристика давления на выходе ПНС, работа исполнительного механизма, работа на регулирующем органе.

Выше были приведены характеристики, смоделированные без учёта внешних возмущений. Возмущением в данной системе выступает изменение расхода. В данной схеме внешние воздействия будут заданы блоком Step в определённый момент времени.

На рис.7 приведён график переходного процесса по выходному давлению с учётом внешних возмущений. Можно заметить наличие возмущений в момент времени 4.5 секунды. Время отработки возмущений 2.5 сек, что удовлетворяет требуемое. Можно заметить, что отработка возмущений действует не более 3 сек.

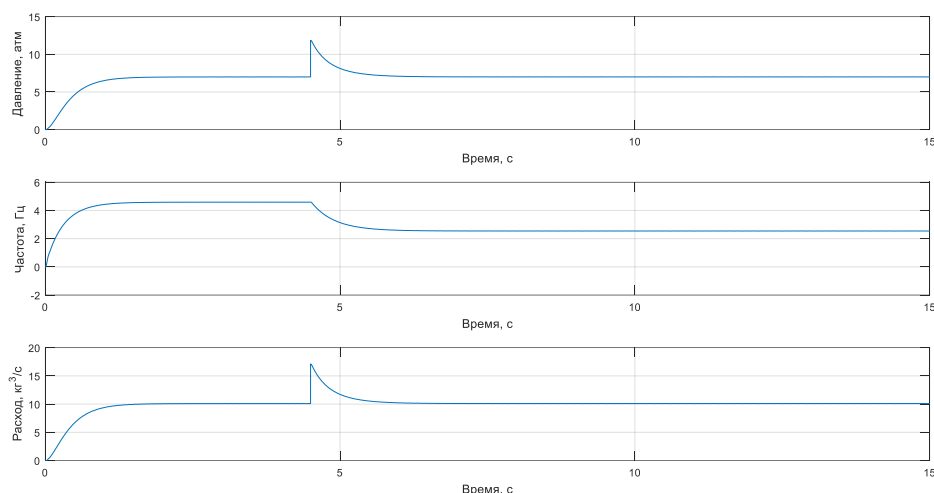


Рисунок 7 – Переходная характеристика давления на выходе ПНС, работа исполнительного механизма, работа на регулирующем органе с учётом возмущающих воздействий

Результаты моделирования показали, что разработанная система обеспечивает заданные характеристики стабилизации давления воды. Данное решение позволит экономить затраты электроэнергии путём внедрения в систему автоматического управления преобразователя частоты.

Перечень ссылок

1. Попович Н.Г., Борисюк Н.Г. и др. «Теория электропривода» – К.: Высшая шк., 1993.494с.
2. Коренькова Т.В., Михайличенко Д.А., и др. Исследование системы ПЧ-АД-Насос-Гидросеть. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Випуск 2/2003(19), с. 377.
3. Черных И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/index.php>

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТОРКРЕТИРОВАНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Новиков В.А., студент; Жукова Н.В., доц., к.т.н., доц.; Федюн Р.В., доц., к.т.н., доц.
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Удалить остатки металла и шлака из крупной дуговой печи после выпуска плавки крайне затруднительно, поэтому основная задача при эксплуатации таких печей сводится к поддержанию футеровки подины и откосов в таком состоянии, чтобы при выпуске плавки металл и шлак полностью выходили из печи и не оставались в углублениях и ямах. Это частично достигается соблюдением заданного технологического режима работы печи.

После установки печи в рабочее положение и отворота свода очищенную от шлака и металла футеровку подины и откосов заправляют сухим или увлажненным магнезитовым порошком (жидким стеклом), подаваемым специальной машиной – торкретфурмой [1,2].

Заправка футеровки, откосов и подины огнеупорными порошками исключает ручные операции, позволяет повысить производительность печи и увеличить продолжительность ее работы до капитального ремонта. Кроме того, эта операция, являясь частью технологического процесса, может быть автоматизирована и включена в автоматизированную систему управления технологическим процессом выплавки стали в ДСП. Заправка футеровки ДСП осуществляется с использованием установки торкретирования, технологическая схема которой изображена рис.1.

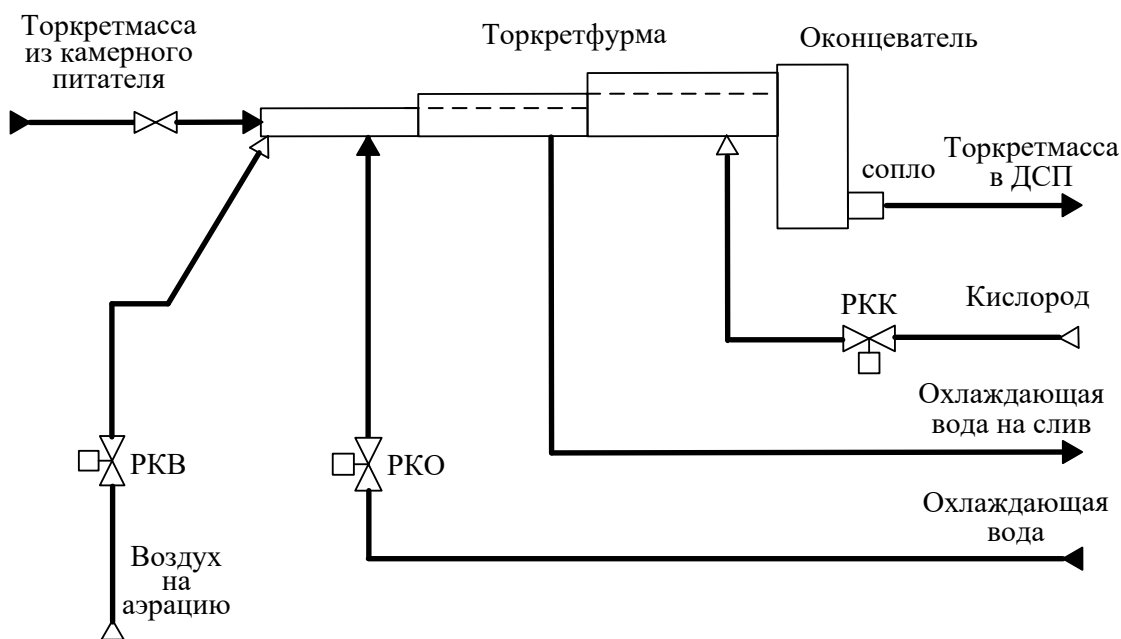


Рисунок 1 – Технологическая схема установки торкретирования ДСП

Основными конструктивными элементами установки являются: камерный питатель и торкретфурма (рис.1) [1,2].

Камерный питатель состоит из бункера, в которой находится торкрет - масса, состоящая из множества различных компонентов и добавок, среди которых песок, кокс и др. К питателю подведен сжатый воздух для аэрации, с помощью которой происходит перемещение торкретмассы из питателя в торкретфурму. Под камерным питателем находится весовое хозяйство для взвешивания массы, в которое входят весы-дозаторы и тензодатчики. Для аэрации и продувки магистрали предусмотрена система защитных

клапанов. При торкретировании работает клапан воздухораспределителя, а при продувке работают два клапана на пневмоцилиндре.

Торкретфурма (рис.1) состоит из трех труб различного диаметра (50, 80, 100 мм), расположенных одна в одной. Оконцеватель торкретфурмы заканчивается соплом, через которое выбрасывается торкретмасса. Для получения требуемого состава и качества торкретмассы в торкретфурму подаются вспомогательные материальные потоки: охлаждающая вода, воздух на аэрацию и кислород (рис.1). Требуемое изменение технических параметров данных материальных потоков достигается за счет управляемых клапанов с электроприводами, которые установлены на подающих в торкретфурму трубопроводах охлаждающей воды РКО, воздуха на аэрацию РКВ и кислорода РКК (рис.1).

Рассмотренные выше особенности установки торкретирования ДСП, а также анализ ее технических параметров и характеристик позволили сформировать схему материальных потоков торкретфурмы, которая приведена на рис.2.

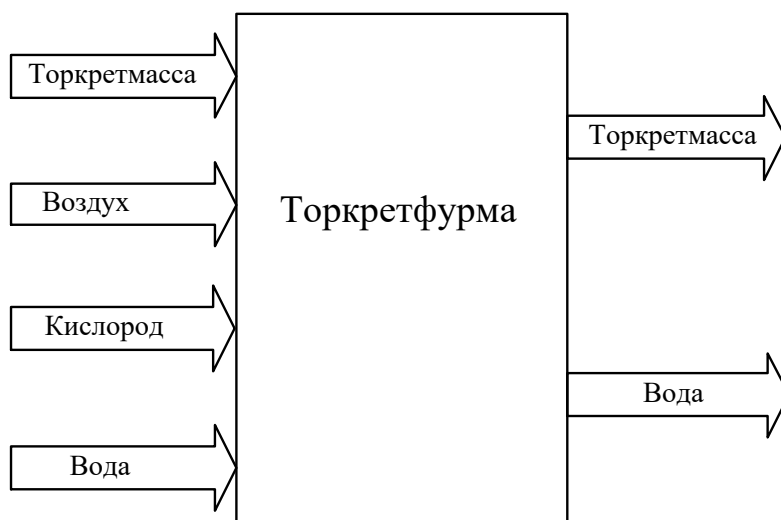


Рисунок 2 – Схема материальных потоков торкретфурмы ДСП

На основании схемы материальных потоков торкретфурмы, а также с учетом ее особенностей и технических характеристик получена схема торкретфурмы, как объекта автоматического управления, которая приведена на рис.3.

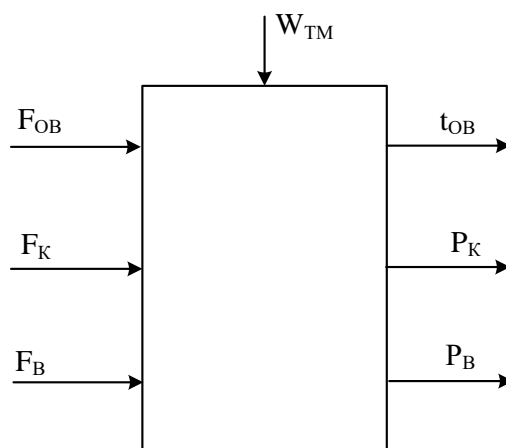


Рисунок 3 – Торкретфурма ДСП как объект управления

Основными управляемыми переменными, которые оказывают существенное влияние на состав получаемой в торкретфурме торкретмассы, а значит, и на качество всего процесса торкретирования ДСП являются (рис.3):

- температура охлаждающей воды на выходе торкретфурмы $t_{ОВ}$;
- давление кислорода, подаваемого в торкретфурму $P_{К}$;
- давление воздуха, подаваемого в торкретфурму для аэрации $P_{В}$.

Для достижения и поддержания требуемых значений управляемых переменных в разрабатываемой САУ торкретированием согласно рис.3 используются следующие управляющие воздействия:

- расход охлаждающей воды на входе в торкретфурму $F_{ОВ}$;
- расход кислорода, подаваемого в торкретфурму $F_{К}$;
- расход воздуха, подаваемого в торкретфурму для аэрации $F_{В}$.

Требуемое изменение перечисленных управляющих воздействий достигается за счет использования исполнительных механизмов с регулирующими органами – управляемых клапанов с электроприводами, которые установлены на соответствующих подающих трубопроводах (рис.1).

Основным возмущающим воздействием, которое оказывает влияние на все вышеприведенные управляемые переменные является вес торкретмассы $W_{ТМ}$, поступающей в торкретфурму (рис.3). Изменение веса торкретмассы $W_{ТМ}$ поступающей в торкретфурму вызывает соответствующее изменение в рассмотренных управляемых переменных – температуре охлаждающей воды на выходе из торкретфурмы $t_{ОВ}$; давлении кислорода, подаваемого в торкретфурму $P_{К}$ и давлении воздуха, подаваемого в торкретфурму для аэрации $P_{В}$.

Реализация разрабатываемой САУ процессом торкретирования ДСП предлагается с использованием принципа регулирования по отклонению по основным управляемым переменным торкретфурмы – температуре охлаждающей воды на выходе из торкретфурмы $t_{ОВ}$; давлению кислорода, подаваемого в торкретфурму $P_{К}$ и давлению воздуха, подаваемого в торкретфурму для аэрации $P_{В}$ (рис.3).

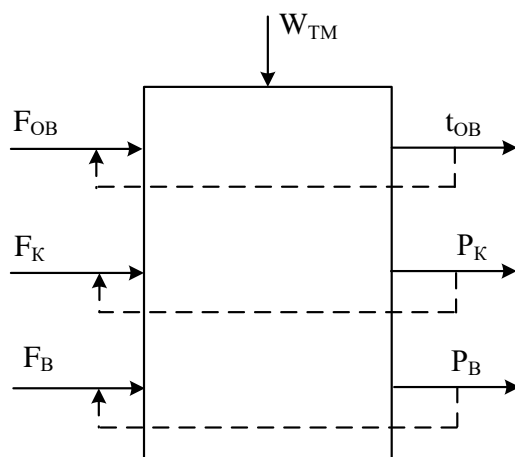


Рисунок 4 – Увеличенная структурная схема концепции построения САУ

Предложенная концепция построения САУ торкретированием ДСП основана на принципе регулирования по отклонению и предполагает три идентичных по структуре контура управления: САУ температурой охлаждающей воды, САУ давлением кислорода, САУ давлением воздуха (рис.4).

В состав каждой САУ входят следующие элементы: объект управления – торкретфурма по соответствующему каналу регулирования; исполнительный механизм с регулирующим органом – управляемый клапан с электроприводом; регулятор; элемент сравнения – входной сумматор и соответствующий технологический датчик в цепи обратной связи. Поддержание требуемых температуры и давления в каждой из САУ осуществляется идентично за счет изменения расхода соответствующего материального потока – охлаждающей воды, кислорода и воздуха, путем необходимого воздействия регулятора через исполнительный механизм на регулирующий орган.

Как показал выполненный анализ особенностей процесса торкретирования ДСП и существующих средств и систем его автоматизации, улучшения качества управления данным процессом можно добиться введением дополнительных контуров автоматического управления.

Согласно схемы торкретфурмы как объекта автоматического управления (рис.3) и укрупненной структурной схемы концепции построения САУ (рис.4) все управляющие воздействия в разрабатываемой САУ – это расходы различных материальных потоков: $F_{ОВ}$; F_K ; F_B . От точности изменения каждого из управляющих воздействий очень сильно зависит качество и экономичность процесса торкретирования ДСП. Поэтому, для достижения поставленной цели - повышения эффективности и качества процесса торкретирования ДСП необходимо при разработке САУ каждым технологическим параметром использовать каскадные системы управления с обязательным внутренним контуром управления соответствующим расходом. Таким образом, получена обобщенная структурная схема автоматического управления отдельным параметром процесса торкретирования, которая приведена на рис.5.

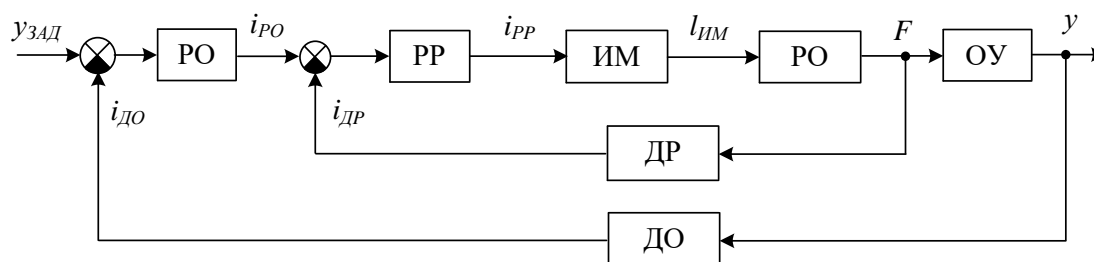


Рисунок 5 – Обобщенная структурная схема автоматического управления отдельным параметром процесса торкретирования

Внутренний контур управления расходом соответствующего материального потока – охлаждающей воды $F_{ОВ}$, кислорода F_K ; воздуха F_B состоит из следующих элементов (рис.5): регулятора расхода РР, исполнительного механизма ИМ, регулирующего органа РО и датчика расхода ДР в цепи внутренней обратной связи.

Задающим воздействием для внутреннего контура управления расходом выступает выходной сигнал основного регулятора РО. Кроме основного регулятора РО в состав внешнего контура управления входит основной датчик ДО – для контроля соответствующей управляемой величины на выходе объекта управления ОУ – температуры охлаждающей воды на выходе из торкретфурмы $t_{ОВ}$; давления кислорода, подаваемого в торкретфурму P_K и давления воздуха, подаваемого в торкретфурму для аэрации P_B .

Для реализации предложенной концепции построения САУ (рис.4, рис.5) и необходимых функций контроля и управления разработана функциональная схема САУ процессом торкретирования дуговой сталеплавильной печи, которая приведена на рисунке 6.

В состав САУ процессом торкретирования дуговой сталеплавильной печи входят следующие системы автоматизации (рис.6): САУ температурой воды, охлаждающей торкретфурму; САУ давлением кислорода, подаваемого в торкретфурму; САУ давлением воздуха на аэрацию торкретфурмы.

Локальный регулятор давления кислорода, который осуществляется программно в ПЛК, реализует алгоритм управления давлением кислорода на основе текущего значения давления кислорода, получаемого от датчика давления ДДК и текущего значения расхода кислорода, получаемого от датчика расхода ДРК, подаваемых на аналоговые входы ПЛК, и требуемого по технологии (заданного) значения давления кислорода, устанавливаемого оператором установки торкретирования (рис.6). Локальный регулятор давления кислорода вычисляет, формирует и выдает управляющее воздействие для необходимого изменения расхода кислорода через аналоговый выход ПЛК на исполнительный механизм – электропривод регулирующего клапана подачи кислорода РКК (рис.6).

Локальный регулятор температуры охлаждающей воды, который осуществляется программно в ПЛК, реализует алгоритм управления температурой охлаждающей воды на основе текущего значения температуры воды, получаемого от датчика температуры охлаждающей воды на выходе из торкретфурмы ДТО и текущего значения расхода охлаждающей воды, получаемого от датчика расхода ДРО, подаваемых на аналоговые

входы ПЛК, и требуемого по технологии (заданного) значения температуры охлаждающей воды на выходе торкретфурмы, устанавливаемого оператором установки торкретирования (рис.6). Локальный регулятор температуры охлаждающей воды вычисляет, формирует и выдает управляющее воздействие для необходимого изменения расхода охлаждающей воды через аналоговый выход ПЛК на исполнительный механизм – электропривод регулирующего клапана подачи охлаждающей воды РКО (рис.6).

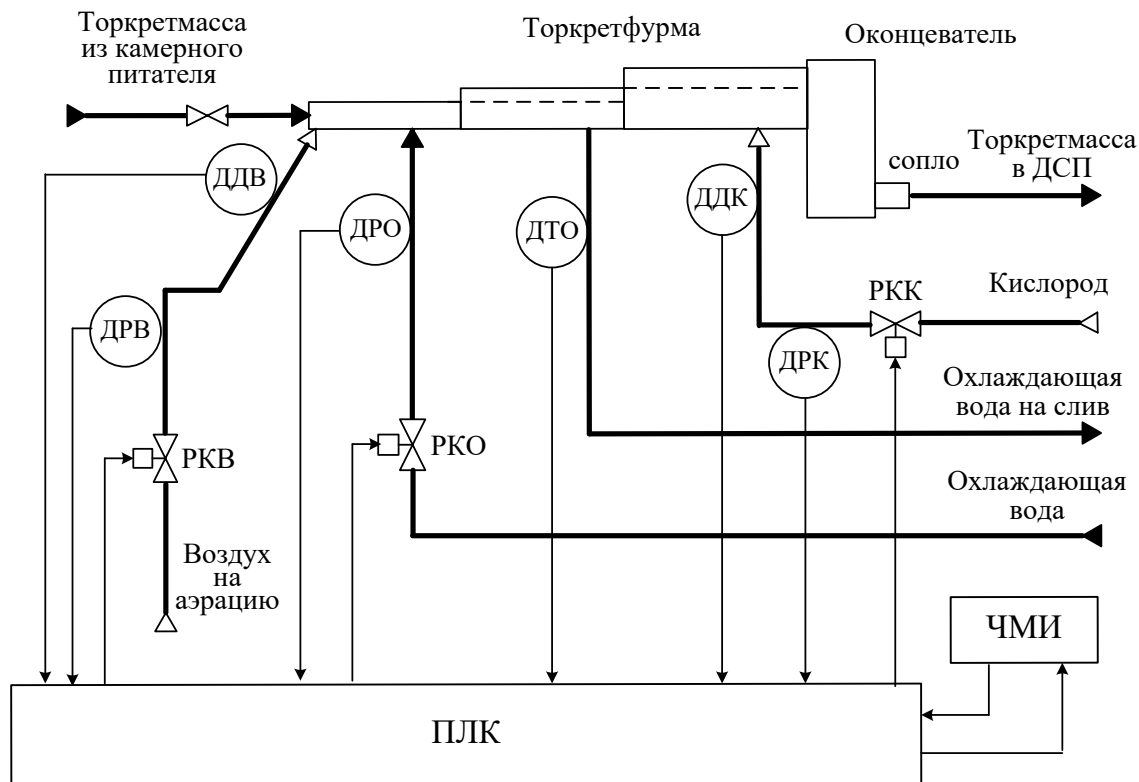


Рисунок 6 - Функциональная схема САУ процессом торкретирования ДСП

Локальный регулятор давления воздуха на аэрацию, который осуществляется программно в ПЛК, реализует алгоритм управления давлением воздуха на основе текущего значения давления воздуха, получаемого от датчика давления ДДВ и текущего значения расхода воздуха, получаемого от датчика расхода ДРВ, подаваемых на аналоговые входы ПЛК, и требуемого по технологии (заданного) значения давления воздуха, устанавливаемого оператором установки торкретирования (рис.6). Локальный регулятор давления воздуха вычисляет, формирует и выдает управляющее воздействие для необходимого изменения расхода воздуха через аналоговый выход ПЛК на исполнительный механизм – электропривод регулирующего клапана подачи воздуха РКВ (рис.6).

Применение предложенной САУ торкретированием ДСП позволяет повысить точность поддержания рассматриваемых параметров – температуры охлаждающей воды, давления кислорода и давления воздуха, что в свою очередь дает возможность повысить качество процесса торкретирования, продлить межремонтный интервал футеровки ДСП, а также снизить эксплуатационные затраты (прежде всего – затраты на электроэнергию, воду и кислород).

Перечень ссылок

1. Великин, Б.А. Торкретирование металлургических печей / Б.А. Великин. - Москва: Металлургия, 1972. – 280 с.
2. Агурин, А. П. Торкретирование тепловых агрегатов. \ А.П. Агурин, А.С. Денисов, А.С. Лукашевич – М.: Стройиздат, 1989. – 368 с.

РАЗРАБОТКА ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ВЫХОДНЫХ ПРОДУКТОВ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Пасько Е. С., студ.; Жукова Н. В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Общая постановка проблемы. Ректификация с помощью ректификационных колонн – эффективный и широко применяющийся метод разделения жидких смесей, состоящих из двух или большего количества компонентов с разными температурами кипения. В данной работе рассматривается случай разделения смеси на две фракции. Общий вид подобной колонны показан на рис. 1. G_f, x_f – расход и концентрация исходной смеси, x_d, x_w – концентрации дистиллята и кубового остатка соответственно, V – расход пара, выходящий из верха колонны, G_d, G_f, G_w – расходы дистиллята, флегмы и кубового остатка соответственно[1].



Рисунок 1 – Вид колонны и изображение основных переменных процесса

Показателем эффективности технологического процесса принимается концентрация легкокипящей фракции в дистилляте, состав же кубового остатка может меняться в произвольных пределах. Возмущающими воздействиями являются расход исходной смеси и ее состав. Управляющие воздействия – расход флегмы (рефлюкса), подаваемой в колонну орошением и расход пара, подаваемого в кипятильник[2].

Разработка линейной модели данного процесса позволит упростить синтез и настройку регуляторов, не потеряв при этом в качестве выходной продукции, что позволит снизить время разработки системы управления.

Методика решения. Чтобы промоделировать массообменные процессы в колонне, можно исследовать происходящее на каждой тарелке колонны. Распределение параметров процесса по тарелкам изображено на рис. 2. N – количество тарелок, f – номер тарелки питания, V_i – поток пара через i -тую тарелку, L_i – поток жидкости, стекающей через i -тую тарелку, x_i и y_i – содержания низкокипящей фракции в жидкой и паровой фазе соответственно.

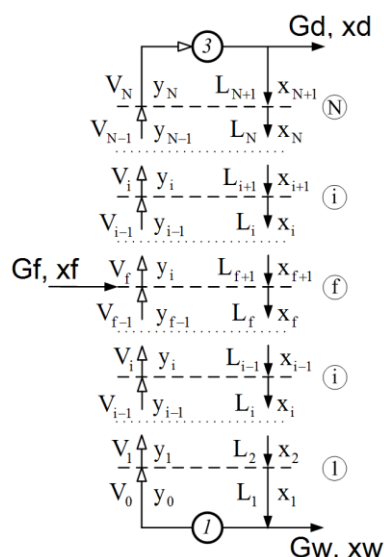


Рисунок 2 – Распределение параметров процесса по тарелкам колонны

Формулы 1.1, 1.2, 1.3 представляют собой основные уравнения материального баланса в колонне:

$$G_f = G_d + G_w \quad (1.1)$$

$$G_d = V - G_\phi \quad (1.2)$$

$$G_f x_f = G_d x_d + G_w x_w \quad (1.3)$$

Для построения математической модели примем следующие допущения:

- поток пара в укрепляющей части колонны (выше тарелки питания) постоянен, т.е. $V_i = V + V_f$, $i=(f+1) \dots N$, где V – поток пара, подаваемый в колонну из кипятильника, а V_f – испаренная часть смеси, подаваемой на тарелку питания;
- поток пара в исчерпывающей части колонны (ниже тарелки питания) постоянен, т.е. $V_i = V$, $i=1 \dots f$;
- поток жидкости в укрепляющей части колонны (выше тарелки питания) постоянен, т.е. $L_i = G_\phi$, $i=(f+1) \dots N$;
- поток жидкости в исчерпывающей части колонны (ниже тарелки питания) постоянен, т.е. $L_i = G_\phi + L_f$, $i=1 \dots f$, где L_f – жидкая часть смеси, подаваемой на тарелку питания.

С учетом вышеизложенных допущений уравнения, описывающие работу колонны, приведены в формулах 1.4-1.13 (M – количество вещества на i -той тарелке, кмоль)[3].

Для куба колонны ($i=0$):

$$\frac{dM_B}{dt} = L_f + G_\phi - V - G_w \quad (1.4)$$

$$\frac{dM_B x_w}{dt} = (L_f + G_\phi) x_1 - V y_0 - G_w x_w \quad (1.5)$$

Для исчерпывающей части колонны (ниже тарелки питания) ($1 < i < f$):

$$\frac{dM_i}{dt} = L_f + G_\phi - V \quad (1.6)$$

$$\frac{dM_i x_i}{dt} = (L_f + G_\phi)(x_{i+1} - x_i) + V(y_{i-1} - y_i) \quad (1.7)$$

Для тарелки питания ($i=f$):

$$\frac{dM_i}{dt} = L_f + G_\phi + V \quad (1.8)$$

$$\frac{dM_i x_i}{dt} = G_\phi(x_{i+1} - x_i) + L_f(x_f - x_i) + V(y_{i-1} - y_i) \quad (1.9)$$

Для укрепляющей части колонны (выше тарелки питания) ($f < i < N$):

$$\frac{dM_i}{dt} = V_f + G_\phi + V \quad (1.10)$$

$$\frac{dM_i x_i}{dt} = G_\phi(x_{i+1} - x_i) + (V_f + V)(y_{i-1} - y_i) \quad (1.11)$$

Для дефлегматора ($i = N + 1$):

$$\frac{dM_i}{dt} = V_f + V - G_\phi - G_d \quad (1.12)$$

$$\frac{dM_i x_i}{dt} = (V_f + V)y_{i-1} - G_\phi x_d - G_d x_d \quad (1.13)$$

Концентрация вещества в газообразном состоянии на каждой тарелке может быть вычислена из соотношения 1.14:

$$y_i = \frac{\alpha x_i}{1 + (\alpha - 1)x_i}, \quad (1.14)$$

где α – относительная летучесть.

Как можно увидеть из уравнений 1.4-1.14, система нелинейна из-за нелинейности соотношения системы «пар-жидкость» на каждой тарелке. Чтобы воспользоваться преимуществами развитого математического аппарата для разработки регуляторов системами в пространстве состояний, необходимо линеаризовать существующую модель.

В целях получения линейной модели на основе существующей нелинейной, примем допущение, что отклонение переменной состояния от установившегося значения в любой момент времени будет незначительным, тогда возможно разложить нелинейное равенство (1.14) в ряд Тейлора, как показано в формуле 1.15:

$$y_i = f(x_i) = f(\bar{x}_i) + \frac{df}{dx}(x_i - \bar{x}_i) + \frac{1}{2!} \frac{d^2 f}{dx^2} (x_i - \bar{x}_i)^2 + \dots, \quad (1.15)$$

где \bar{x}_i – установившееся значение концентрации жидкой фазы на i -той тарелке.

Так как было принято допущение, что переменная состояния лишь незначительно отклоняется от установившегося значения, то третьим и далее слагаемыми в формуле 1.15 можно пренебречь, тогда имеем:

$$y_i = \bar{y}_i + K(x_i - \bar{x}_i), \quad (1.16)$$

где $\bar{y}_i = f(\bar{x}_i)$, $K = \frac{df}{dx}$ при $x = \bar{x}_i$.

Линеаризованная система в пространстве состояний будет иметь вид (1.17):

$$\begin{aligned} \dot{z}(t) &= Az(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cz(t) \end{aligned} \quad (1.17)$$

где

$$z(t) = \begin{bmatrix} x_1 - \bar{x}_1 \\ x_2 - \bar{x}_2 \\ \dots \\ x_N - \bar{x}_N \end{bmatrix}, \quad u(t) = \begin{bmatrix} L - \bar{L} \\ V - \bar{V} \end{bmatrix}, \quad y(t) = \begin{bmatrix} x_1 - \bar{x}_1 \\ x_N - \bar{x}_N \end{bmatrix}$$

В таком случае, коэффициенты матрицы A будут иметь вид (1.18-1.22):

Для куба колонны ($i=0$):

$$a_{0,0} = -\frac{K_0 \bar{V} + G_w}{M_B}, \quad a_{0,1} = \frac{\bar{L} + \bar{L}_f}{M_B}, \quad (1.18)$$

Для исчерпывающей части колонны (ниже тарелки питания) ($1 < i < f$):

$$a_{i,i-1} = \frac{K_{i-1}\bar{V}}{M_i}, \quad a_{i,i} = -\frac{K_{i-1}\bar{V} + \bar{L} + L_f}{M_i}, \quad a_{i,i+1} = \frac{\bar{L} + L_f}{M_i} \quad (1.19)$$

Для тарелки питания (i=f):

$$a_{f,f-1} = \frac{K_{f-1}\bar{V}}{M_f}, \quad a_{f,f} = -\frac{K_f\bar{V} + \bar{L} + L_f}{M_f}, \quad a_{f,f+1} = \frac{\bar{L}}{M_f} \quad (1.20)$$

Для укрепляющей части колонны (выше тарелки питания) (f<i<N):

$$a_{i,i-1} = \frac{K_{i-1}(\bar{V} + V_f)}{M_i}, \quad a_{i,i} = -\frac{K_i(\bar{V} + V_f) + \bar{L}}{M_i}, \quad a_{i,i+1} = \frac{\bar{L}}{M_i} \quad (1.21)$$

Для дефлегматора (i=N+1):

$$a_{i,i-1} = \frac{K_{i-1}(\bar{V} + V_f)}{M_d}, \quad a_{i,i} = -\frac{\bar{L} + G_d}{M_d} \quad (1.22)$$

Элементы матрицы В (1.23-1.25):

Для куба колонны (i=0):

$$b_{0,0} = \frac{\bar{x}_2}{M_B} L, \quad b_{0,1} = -\frac{\bar{y}_1}{M_B} V, \quad (1.23)$$

Для тарелок колонны (1<i<N):

$$b_{i,1} = \frac{\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i}{M_i} L, \quad b_{0,1} = -\frac{\bar{y}_i - \bar{y}_{i-1}}{M_i} V, \quad (1.24)$$

Для дефлегматора (i=N):

$$b_{i,1} = \frac{-\bar{x}_i}{M_d} L, \quad b_{0,1} = \frac{\bar{y}_{i-1}}{M_d} V, \quad (1.25)$$

Матрица С имеет вид (1.26):

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1.26)$$

Таким образом, для получения готовой математической модели колонны в пространстве состояний необходимо задаться установившимися значениями концентраций на каждой тарелке. Затем, имея линейную математическую модель, можно применить к ней любой метод расчета регулятора (например, метод Уилкинсона), т.е. линеаризация системы свела задачу управления колонной к типовой задаче управления многомерным линейным объектом и сделала возможным применение развитого математического аппарата.

1. Рассмотрены теоретические основы процессов, протекающие в ректификационной колонне и процессы на каждой из тарелок.

2. Получены ключевые зависимости между поступающими воздействиями и реакцией системы на них.

3. Проведена линеаризация системы.

Перечень ссылок

1. Дудникова Е. Г. Автоматическое управление в химической промышленности: учебник для вузов / Дудникова Е. Г. – Москва: Химия, 1987. – 111 с.

2. Голубятников В. А. Автоматизация технологических процессов в химической промышленности. / Голубятников В. А., В. В. Шувалов – Москва. : Химия. 1985. – 212 с.

3. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии / Бондарь А.Г. – Киев: «Вища школа», 1973. – 274 с.

ОСОБЕННОСТИ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ ГЛУБОКОЙ ЛИКВИДИРУЕМОЙ ШАХТЫ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Получистова М.В., магистрант; Федюн Р.В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Общая постановка проблемы. В настоящее время всё чаще стоит вопрос о ликвидации угольных предприятий – как экономически неэффективных, так и отработавших все запасы угля. Но не всегда ликвидацию шахты можно начинать сразу с ее физического закрытия. Так, после отключения насосов от электричества наступает так называемая мокрая консервация, которая неизбежно приводит к подъему вод на соседних шахтах (если они связаны с ликвидируемой горными работами) либо к выходу подземных вод на поверхность. Существующие на соседних действующих шахтах водоотливные комплексы, как правило, не способны принять повышенный приток воды. Чтобы не затопить действующие шахты, требуется реконструкция их водоотливных комплексов или строительство новых водоотливов.

Эксплуатация водоотливных комплексов закрывающихся шахт имеет свои особенности и отличия, которые необходимо учитывать при автоматизации данного технологического процесса.

На территории Донецкой области насчитывают более 80 угледобывающих предприятий, в 5 из которых горные работы ведутся на глубине свыше 1000 м: «Шахтерская-Глубокая» (1386 м), «Прогресс» (1340 м), шахта им. А. А. Скочинского (1200 м), шахта им. В. М. Бажанова (1200 м), «Стаханова» (1150 м).

Ожидаемый водоприток по шахте «Шахтерская-Глубокая» составляет 550 м³/час, максимальный - 850 м³/час. Нормальный приток по шахте – 160 м³/час.

Схема водоотлива шахты двухступенчатая. Главная водоотливная установка расположена у клетового ствола в околоствольном дворе основного горизонта на глубине 1294 м, перекачная – в горной выработке, соединяющей клетовой и скиповой ствола на глубине 639 м.

В данном случае имеет место гидравлически развязанная схема водоотлива. Насосные установки разных горизонтов гидравлически жестко не связаны. Моменты их включений и отключений определяются уровнем воды в соответствующем водосборнике. Водоотливная установка каждого горизонта может рассматриваться как обычная одноступенчатая водоотливная установка со всеми присущими ей достоинствами и недостатками. Анализ технологических особенностей показал, что такая схема водоотлива имеет ряд отрицательных моментов. Во-первых, это наличие промежуточного водосборника, на содержание которого необходимы существенные капитальные вложения и эксплуатационные затраты. Во-вторых, необходимо согласовывать подачи насосов разных горизонтов. Для этого необходимо регулировать насосы, что в эксплуатации нередко вызывает ряд затруднений. В-третьих, отсутствие жесткой связи между насосами разных горизонтов приводит к сдвигу во времени между рабочими циклами насосов [1].

Более экономичной и перспективной является схема ступенчатого водоотлива с последовательно соединенными насосами (рис. 1).

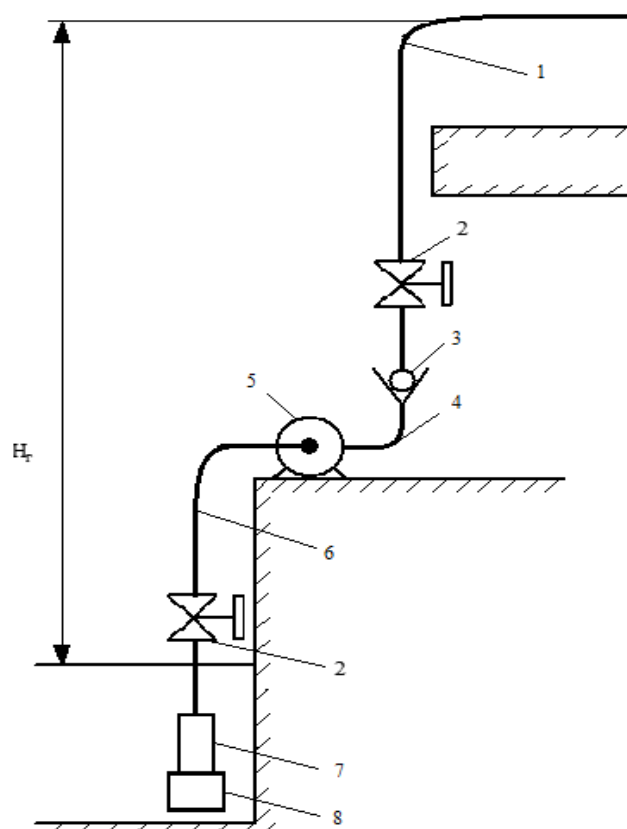


Рисунок 1 – Технологическая схема ступенчатого водоотлива с последовательно соединенными насосами

1 – нагнетательный трубопровод; 2 – задвижка; 3 – обратный клапан; 4 – главное колено нагнетательного трубопровода; 5 – насос центробежный типа ЦНСШ; 6 – всасывающий трубопровод, 7 – насос погружной типа АНПШ; 8 – электродвигатель насосного агрегата; H_g – геометрический напор установки.

С применением такой схемы исчезает необходимость в поддержании промежуточных водосборников, не требуется регулирование насосов по производительности в стационарном режиме работы. Наличие давления (подпора) во всасывающих трубопроводах насосов промежуточных горизонтов устраняет подсосы воздуха и кавитационные режимы работы, что позволяет увеличить к.п.д. и продлить срок службы насосного оборудования. Отрицательной стороной этой технологической схемы водоотлива является жесткая связь между насосами разных горизонтов. В связи с этим изменения режима работы насосов одного горизонта оказывает влияние на работу насосов другого горизонта. Это влияние проявляется как в стационарном режиме работы, так и в различных переходных и нестационарных режимах.

Ещё одним достоинством данной схемы является распределение нагрузки между горизонтами водоотлива. Насосы нижнего горизонта имеют меньшую мощность, чем насосы верхнего горизонта, что благоприятно сказывается на работе насосов, приводных электродвигателей и электрической сети шахты. Капитальные и эксплуатационные затраты на применение погружных насосов, а также двигателей меньшей мощности меньше, чем на использование мощных электродвигателей. Применение данной схемы позволяет снизить затраты энергии на процесс водоотлива, так как приток промежуточных горизонтов сразу выдается на поверхность. В схеме с последовательно соединенными насосами весь приток выдается с нижнего горизонта на поверхность.

Результаты исследований и методика решения. Анализ влияния изменений характеристик трубопроводов и насосов разных горизонтов на рабочий режим ступенчатой

водоотливной установки позволяет сделать вывод о его неоднозначности [1]. Так, наиболее неблагоприятным будет случай, когда снижаются напорные характеристики нижних насосов и увеличивается сопротивление их трубопроводов, а напорные характеристики трубопроводов и насосов верхней группы остаются неизменными.

Рассмотрим стационарный режим работы двухступенчатой водоотливной установки с последовательно соединенными насосами. Эта схема характеризуется жесткой гидравлической связью, поэтому рабочие режимы водоотливных установок разных горизонтов и общий режим работы взаимосвязаны. Графические характеристики двухступенчатой водоотливной установки приведены на рис.2.

Устойчивая работа насосов, соединенных последовательно, возможна лишь в том случае, когда во всасывающих трубопроводах насосов промежуточных горизонтов будет избыточное давление - подпор [2]. В принципе работа насосов промежуточных горизонтов возможна и при вакууме во всасывающих трубопроводах, если его величина не превышает вакуумметрической высоты всасывания насоса. Однако в этом случае возможны подсосы воздуха во всасывающих линиях насосов промежуточных горизонтов, заметно возрастает опасность работы этих насосов в режиме кавитации. Поэтому необходимо обеспечивать работу насосов промежуточных горизонтов с подпором. Условием существования подпора насосов любого промежуточного горизонта является преобладание производительности совместно работающих нижних насосов над производительностью насоса рассматриваемого горизонта при его совместной работе с вышерасположенными насосами.

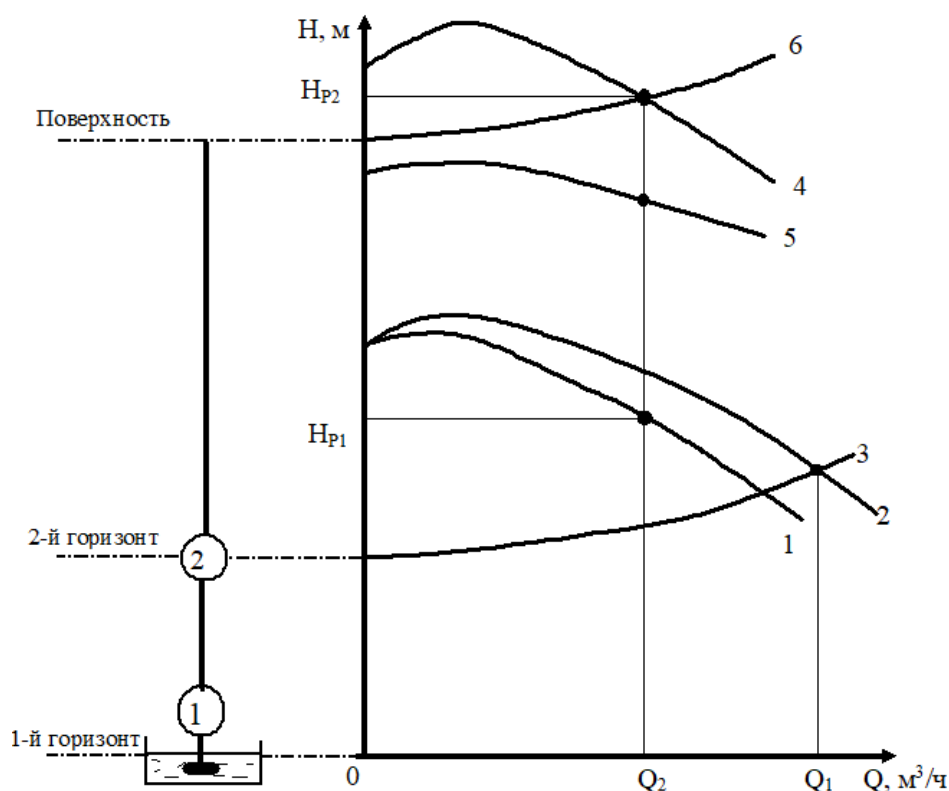


Рисунок 2 – Графические характеристики двухступенчатой водоотливной установки с последовательно соединенными насосами

1 - характеристика насоса первого горизонта, приведенная к оси насоса второго горизонта; 2, 5 - напорные характеристики насосов первого и второго горизонтов соответственно; 3, 6 - характеристики трубопроводов насосных установок первого и второго горизонтов; 4 - общая характеристика насосов первого и второго горизонтов.

Согласно инструкции на эксплуатацию погружного насосного агрегата завода-изготовителя [3] оптимальным режимом работы агрегата является продолжительный режим без остановок, при условии эксплуатации в рабочем диапазоне подач агрегата. При этом необходимо учитывать, что число включений агрегата не должно составлять более 3-х в сутки с интервалом не менее 60 мин.

Запуск агрегата должен осуществляться на закрытую задвижку. После успешного запуска агрегата (после того как показания манометра увеличатся до значения номинального напора агрегата), задвижка плавно открывается, причем во время открытия задвижки не должно наблюдаться забросов давления. Таким образом, остановка насосных агрегатов также осуществляется на закрытую задвижку.

При работе водоотливной установки необходимо контролировать ее основные технологические параметры: напор, подачу, уровень воды в водосборнике, а также основные электротехнические параметры приводного электродвигателя. Водоотливная установка на основе погружных насосов обязательно должна оборудоваться датчиками сухого хода и критического уровня, а также, в зависимости от режима работы и схемы водоотлива - датчиками нижнего и верхнего уровней.

Таким образом, система автоматического управления комплексом водоотлива ликвидируемой глубокой шахты должна выполнять следующие функции:

- регулирование подачи насосных установок для работы водоотлива в режиме непрерывной откачки воды – «работа на приток»;
- плавный пуск и остановка насоса на закрытую задвижку;
- управление задвижкой (для исключения гидроударов и забросов давления) при пуске и остановке насосного агрегата;
- автоматическое включение в работу вспомогательного рабочего агрегата при достижении водой верхнего уровня и непрерывную его работу до нижнего уровня;
- автоматическое включение в работу резервного насосного агрегата, если отказал основной насос или он не справляется с притоком и вода достигла аварийного уровня;
- аварийный останов насоса при снижении или потере подачи;
- автоматический контроль основных технологических параметров водоотливной установки – подачи, напора, уровней воды в водосборнике.

Учитывая, что в процессе затопления шахты в замкнутых пространствах и полостях бывших выработок не исключено скопление метана и при колебаниях уровня воды имеется вероятность его внезапного прорыва в вертикальный ствол, в котором размещено электрооборудование и кабели, необходимо предусмотреть функции автоматической газовой защиты.

Выводы.

1. Выполнен анализ водоотливной установки глубокой ликвидируемой шахты с точки зрения автоматического управления ней.
2. Рассмотрены особенности работы шахтных насосных установок.
3. Составлены функции, которые должна выполнять система автоматического управления водоотливной установкой глубокой ликвидируемой шахты.

Перечень ссылок

1. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. М.: Недра, 1987.- 270 с.
2. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 304 с.
3. Указания по монтажу и применению в проектах систем шахтного водоотлива агрегатов насосных погружных шахтных АНПШ. Инструкция по эксплуатации АЭТА.062313.005.375.250ТО. ОАО Завод «Молот», 2010.- 40 с

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ НАГРЕВА ЛАБОРАТОРНОЙ МУФЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С FUZZY- ПИД И ПИД УПРАВЛЕНИЕМ

Пшибис В.А., студент; Жукова Н.В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Общий анализ проблемы и постановка задачи исследований. Лабораторная муфельная печь представляет собой детерминированный объект управления, поведение которого, в неизменяемых условиях можно предсказать достаточно точно. Но из-за широкого применения печи [1], могут возникать трудно прогнозируемые возмущения, которые отрицательно влияют на качество ТП и усложняют идентификацию ОУ. Поэтому разработка САУ, на базе нечеткой логики, является актуальной задачей, так как это позволит убрать необходимость предварительной настройки регулятора, а также повысит показатели качества ТП нагрева. Рассматриваемый объект (рис. 1) имеет один вход и один выход, явные постоянные возмущения отсутствуют, но возможны случайные, которые могут проявляться и изменяться в зависимости от условий и времени эксплуатации (изменение температуры окружающей среды, сопротивления нагревателя, из-за старения и т.д.).

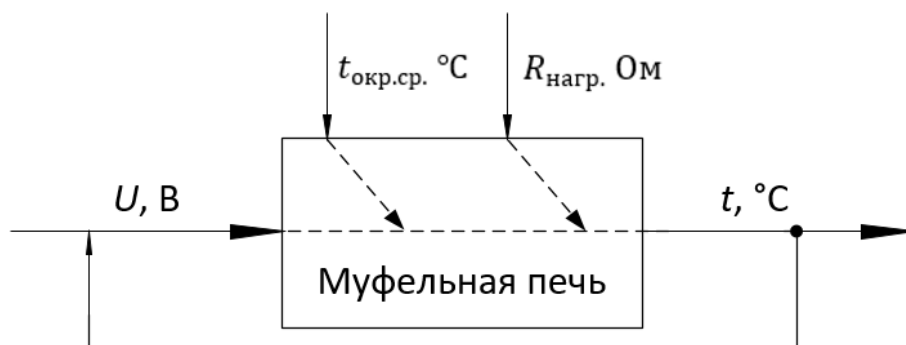


Рисунок 1 – Схема муфельной печи, как объект управления

Математическое описание лабораторной муфельной печи может быть получено посредством системы дифференциальных уравнений. Применение системы дифференциальных уравнений позволяет получить реальное представление о физических процессах внутри камеры печи [2]. Каждое дифференциальное уравнение, входящее в систему, описывает свою часть объекта: нагрев печи θ_M и нагрев объекта внутри печи θ_0 . Таким образом, математическая модель лабораторной муфельной печи:

$$\begin{cases} m_M C_M \frac{d\theta_M}{dt} = \frac{1}{m_M C_M} \left(\frac{U^2}{R_t} - S_M A_M h_M (\theta_M - \theta_0) - S_0 \varepsilon \sigma (\theta_M^4 - \theta_0^4) \right) dt \\ \frac{d\theta_0}{dt} = \left(\frac{1}{m_0 C_0} S_0 \varepsilon \sigma (\theta_M^4 - \theta_0^4) \right) dt \end{cases}, \quad (1)$$

где θ_M, θ_0 – температура внутри печи и нагреваемого объекта, соответственно, °C;

R_t – сопротивление нагревателя при текущей температуре, Ом;

U – напряжение питания печи, В;

m_M – масса муфельной печи, 100 кг;

C_M – удельная теплоемкость огнеупорного материала, 800 Дж/(К*кг);

S_M – площадь поверхности печи, 0.625 м²;

A_M – коэффициент теплопередачи утеплителя, 0.6 Вт/(К*м²);

h_M – толщина огнеупорного материала, 0.15 м;

S_0 – площадь поверхности нагреваемого объекта, 0.0302 м²;

ε – излучательная способность нагреваемого объекта, 1;
 σ – постоянная Стефана-Больцмана, $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$;
 m_o – масса нагреваемого объекта, 0.4 кг;
 C_o – удельная теплоемкость нагреваемого объекта, 444 Дж/(К*кг).

Дополнительно введено соотношение изменения сопротивления нагревателя, в зависимости от текущей температуры в камере печи:

$$R_t = R_o * (1 + \alpha t), \quad (2)$$

где R_o – сопротивление нагревателя при н/у, 10.76 Ом;

α – температурный коэффициент нагревательного элемента (нихромовая проволока), $0.25 \cdot 10^{-3} \cdot \text{К}^{-1}$;

t – значение температуры печи в конкретный момент времени, °С.

Методика решения задачи. Рассмотрим структурную схему САУ (рис. 2). Система состоит из одного контура и основывается на принципе управления по отклонению сигналов задания и обратной связи. В систему входят: объект управления, исполнительное устройство, нечеткий регулятор и датчик с измерительным усилителем.

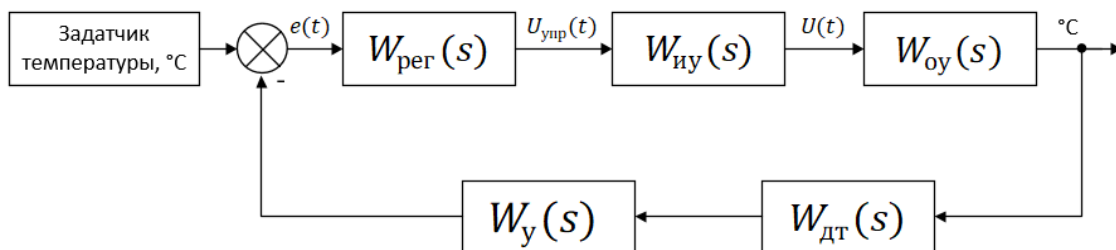


Рисунок 2 – Структурная схема САУ температуры

САУ основывается на разработанном Fuzzy-ПИД регуляторе [3]. Особенность его в том, что отсутствует необходимость иметь информацию об объекте [4]. Fuzzy система построена на основе системы типа Мамдани, с дефаззификацией согласно методу центра тяжести.

Для проведения процесса моделирования, используется схема (рис. 3), в которую поочередно добавляется Fuzzy или ПИД регуляторы. Результаты, по итогу, сводятся в один график.

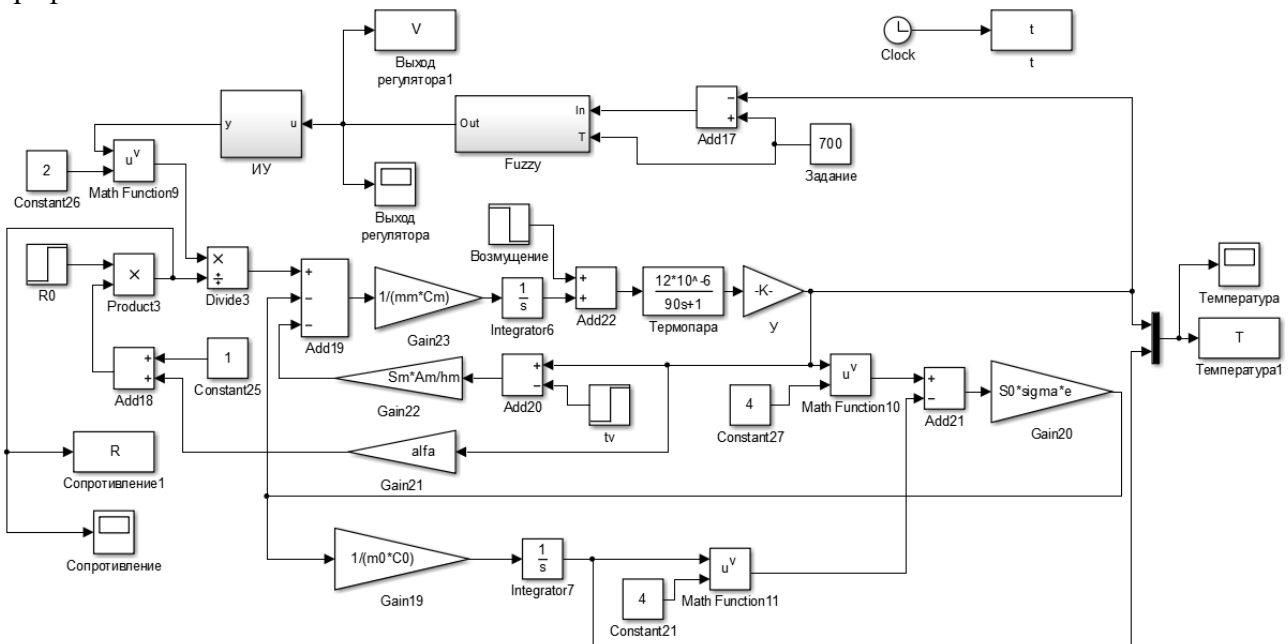


Рисунок 3 – Схема моделирования САУ муфельной печи в MATLAB Simulink

Порядок проведения моделирования, для анализа динамики, следующий. Изначально задаваемая температура составляет 500°С. После выхода на рабочий режим, на 20000 с.

вводится изменение сопротивления нагревателя, в следствии устаревания элементов печи. На 25000 с. вводится возмущение, в виде повышения температуры окружающей среды на 10°C. На 30000 с. вводится большое невозможное возмущение, в виде резкого падения температуры на 100°C. После этого, на 40000 с. повышается задаваемая температура до 700°C. Ни на одном этапе, параметры регуляторов не изменяются. Для Fuzzy-ПИД регулятора введены ограничения изменения ПИД составляющих: $K_p = [1; 500]$, $K_d = [0; 50]$. Составляющую K_i ограничить нельзя, так как ее изменение происходит по определенной зависимости, но возможно снизить ее влияние [3]. Параметры ПИД регулятора получены эмпирическим методом и составляют: $K_p = 300$, $K_d = 10$ и $K_i = 0,7$.

После проведения моделирования, получены переходные характеристики (рис. 4) изменения температуры в камере печи, управляющего сигнала регулятора и сопротивления нагревателя.

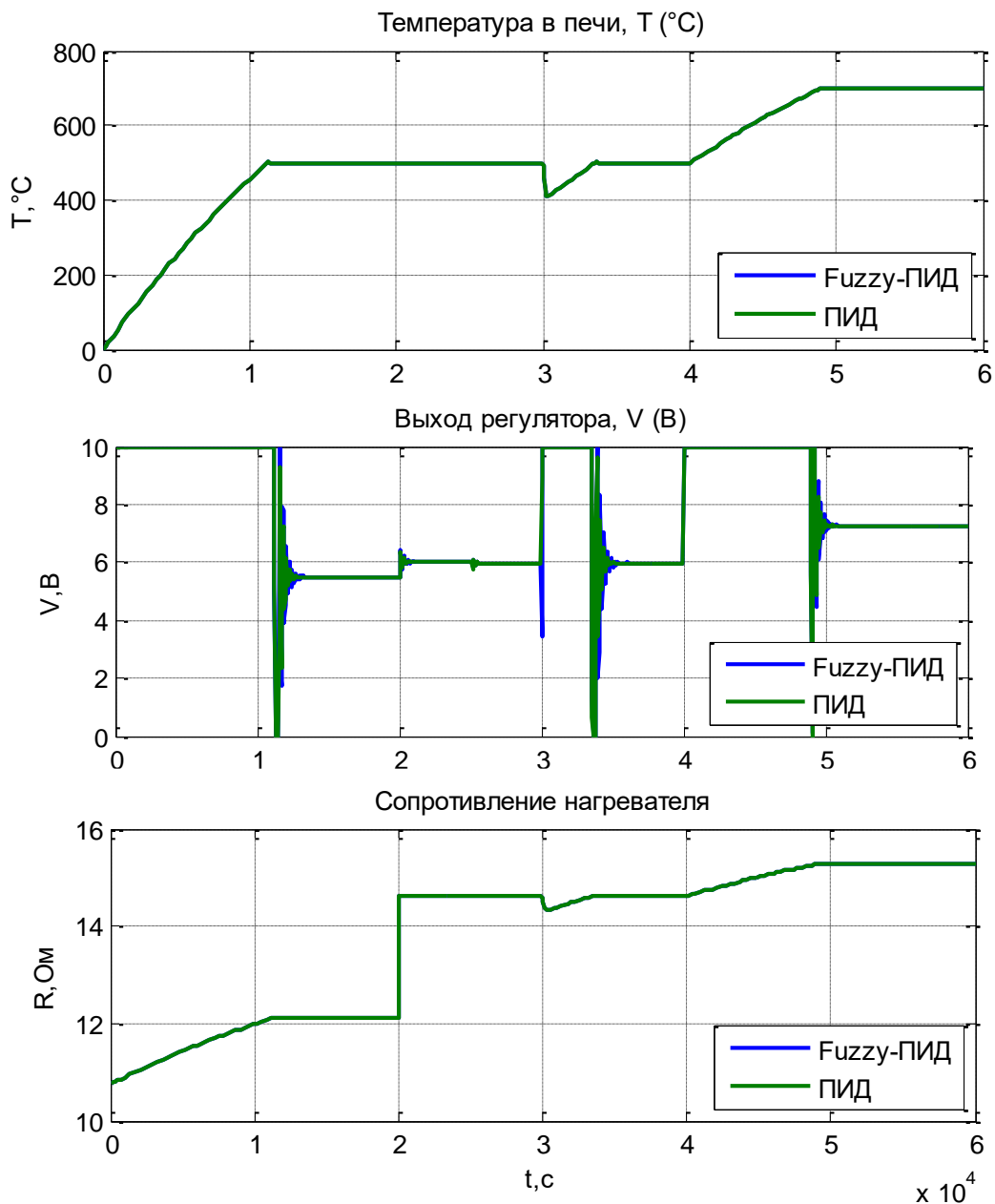


Рисунок 4 – Переходные характеристики САУ температуры

Исходя из графиков (рис. 4) оба регулятора обеспечивают компенсацию возмущений, различной силы и производят нагрев до установленной температуры с одинаковой скоростью.

Из-за невозможности точного определения показателей качества (по рис. 4), проведено масштабирование некоторых участков переходной характеристики изменения температуры в камере печи (рис. 5).

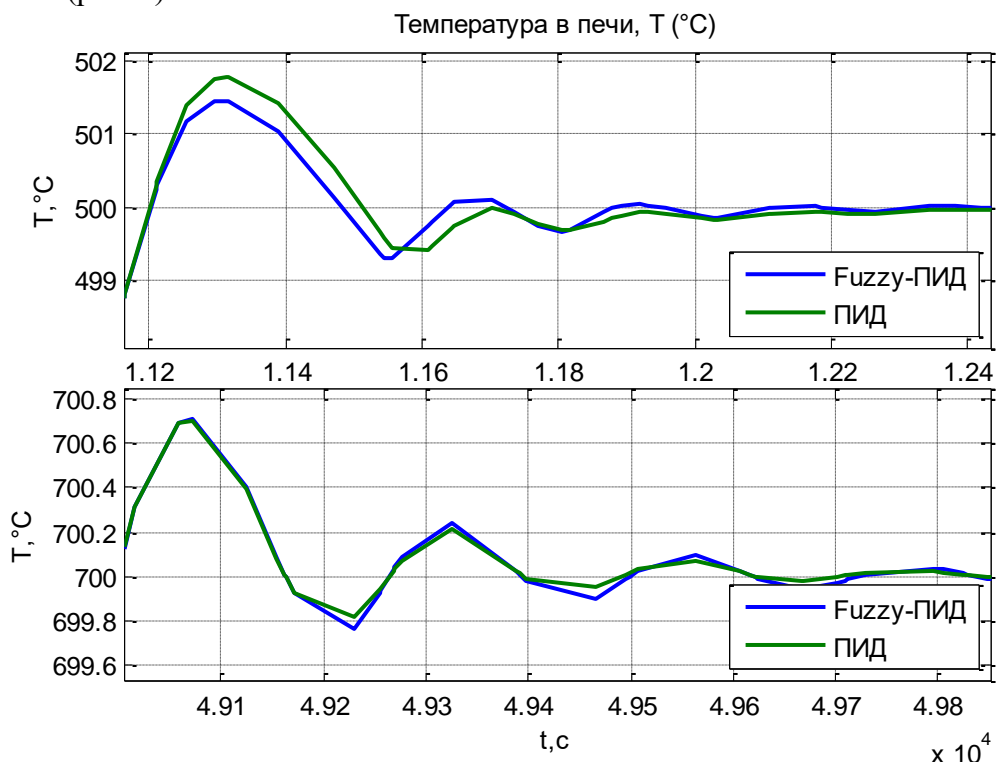


Рисунок 5 – Переходные характеристики САУ температуры в камере печи

Исходя из рис. 5 видно, что в зависимости от заданной температуры различаются показатели качества. Оба регулятора имеют ошибку регулирования $\varepsilon \approx 0$ °С. Перерегулирование для 500°С: $\sigma_{\text{пид}} = 0,36\%$, $\sigma_{\text{Fuzzy}} = 0,28\%$. Перерегулирование для 700°С: $\sigma_{\text{пид}} = 0,09\%$, $\sigma_{\text{Fuzzy}} = 0,09\%$. Для определения времени регулирования, считаем время вхождения ± 1 °С зону. Время регулирования для 500°С: $t_{\text{пид}} = 11430$ с, $t_{\text{Fuzzy}} = 11400$ с. Время регулирования для 700°С: $t_{\text{пид}} = 48943$ с, $t_{\text{Fuzzy}} = 48943$ с. Делаем вывод, что Fuzzy-ПИД регулятор имеет более высокие показатели качества. Стоит отметить, что эти результаты будут более различаться, в зависимости от силы предварительно введенных возмущений, ранее не рассмотренных конструктивных изменений и т.д.

Дополнительно построены переходные характеристики изменения параметров нечеткого регулятора (рис. 6).

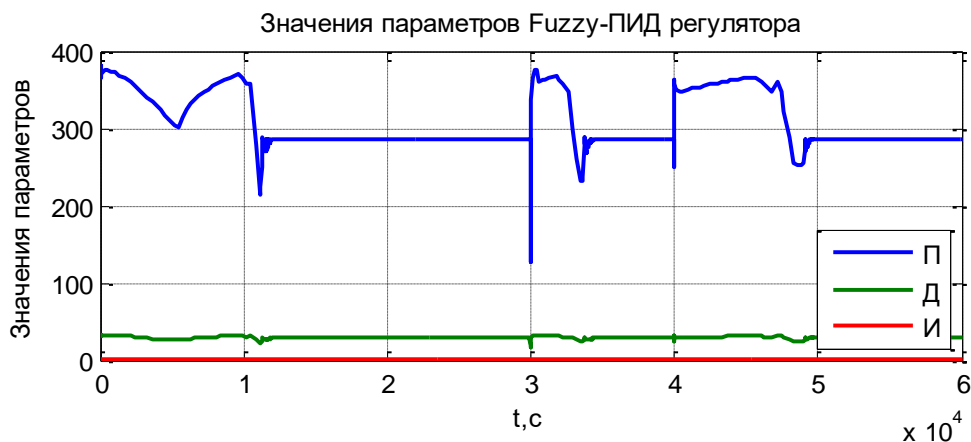


Рисунок 6 – Переходные характеристики изменения параметров Fuzzy-ПИД

Исходя из рис. 6 видно, что в широком диапазоне происходит изменение параметров нечеткого регулятора, что говорит о работоспособности адаптивного механизма.

Для оценки точности регуляторов, построены переходные характеристики изменения ошибки регулирования и проведено масштабирование конечного участка (рис. 7). Исходя из графика (рис. 7) видно, что у обоих регуляторов ненулевая установившаяся ошибка регулирования, но у Fuzzy-ПИД она имеет меньшее значение.

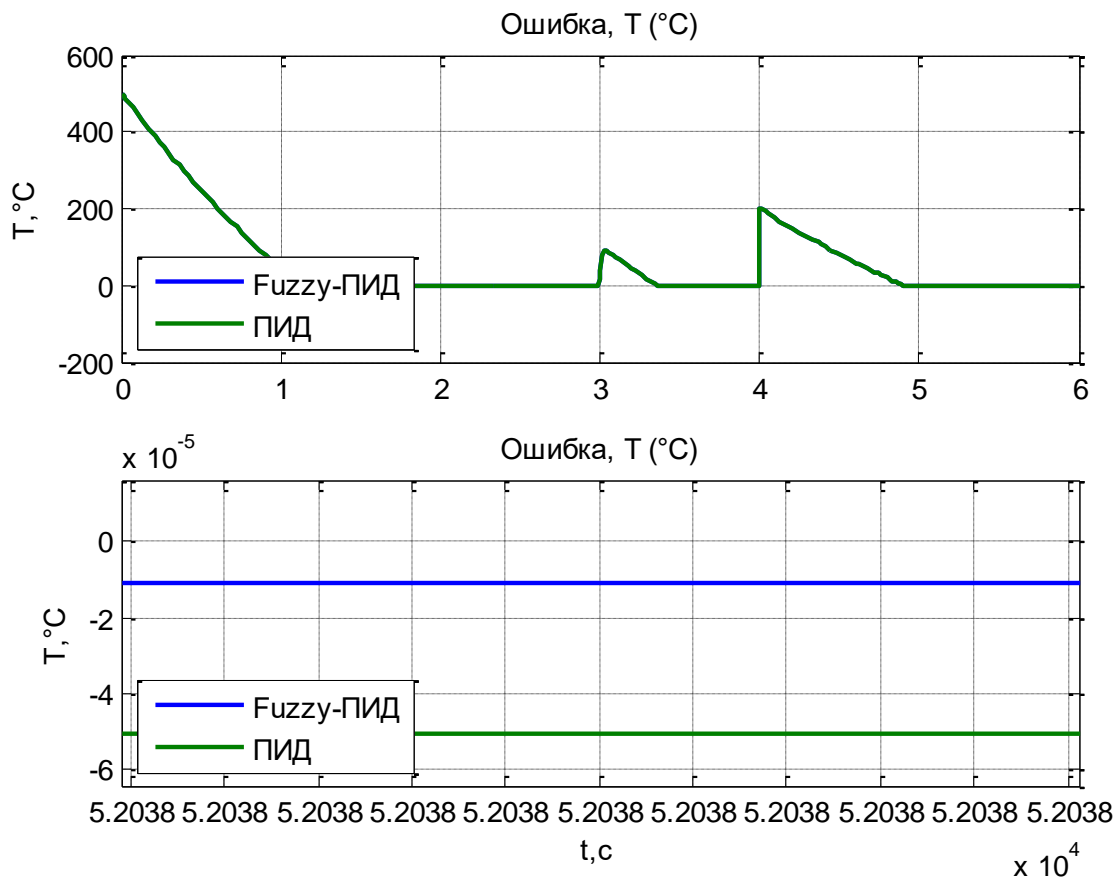


Рисунок 7 – Переходные характеристики ошибки регулирования САУ температуры

На основании полученных результатов, делаем вывод, что САУ, основанная на нечеткой логике имеет более высокие показатели качества, чем ПИД управление. Отсутствие необходимости проводить предварительную настройку системы, а также более высокие показатели качества приводят к тому, что Fuzzy - ПИД регулятор рекомендуется для применения в САУ нагрева лабораторных муфельных печей.

Перечень ссылок

1. Сокунов Б.А. Электротермические установки (электрические печи сопротивления): учеб. пособие / Б.А. Сокунов, Л.С Грובה. – Екб.: УГТУ - УПИ, 2004. – 122 с.
2. Арутюнов В.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей / В.А. Арутюнов, В.В. Бухмиров, С.А Крупенников. – М.: Металлургия, 1990. – 239 с.
3. Пшибис В.А. Моделирование системы автоматического управления процессом нагрева лабораторной муфельной печи на базе нечеткой логики / В.А. Пшибис, Н.В. Жукова // СЕВЕРГЕОЭКТЕХ-2019 XX МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ в г. УХТА 20–22 марта 2019 года. – (находится в публикации)
4. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия-Телком, 2007. – 284 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕРАБОТКИ ОБОРОТНОГО БРАКА В УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ

Росляков М.С., студент; Жукова Н.В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Актуальность темы. Процесс роспуска сухого брака в гидроразбивателе характеризуют следующие параметры: массовый расход сырья (сухого брака), сухость сырья, расход оборотной воды, концентрация оборотной воды, скорость вращения ротора, мощность, потребляемая из сети электроприводом ротора в процессе роспуска, концентрация распущенной массы в ванне гидроразбивателя, уровень волокнистой распущенной массы в ванне гидроразбивателя.

Одним из важнейших параметров, характеризующих качество процесса роспуска, является концентрация распущенной волокнистой массы в ванне гидроразбивателя.

С учетом вышесказанного, основными регулируемыми переменными технологического процесса роспуска являются:

- концентрация распущенной массы в ванне гидроразбивателя;
- уровень волокнистой распущенной массы в ванне гидроразбивателя.

Управляющими воздействиями:

- расход разбавляющей оборотной воды;
- расход отводимой (суспензии) и рециркуляционной массы.

Основным возмущающим воздействием является:

- массовый расход сырья (сухого брака), поступающий с ленточного конвейера.

Таким образом, схема технологического процесса роспуска сухого брака в гидроразбивателе как объекта управления имеет вид, представленный на рис. 1

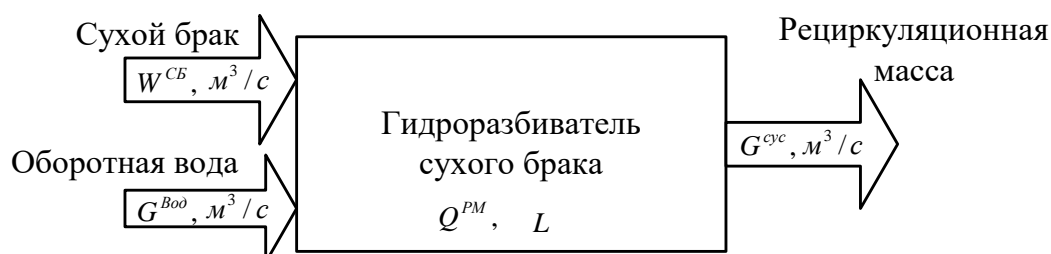


Рисунок 1 – Анализ технологического процесса роспуска сухого брака в гидроразбивателе как объекта управления

Из данной схемы следует, что основными входными материальными потоками являются сухой брак (макулатура), который характеризуется такой информационной переменной, как объемная производительность. Данный поток относится к основному возмущению, влияющему на концентрацию распущенной массы в ванне гидроразбивателя. Увеличение производительности сухого брака повышает концентрацию.

Материальный поток - оборотная вода характеризуется такой информационной переменной как расход. Расход оборотной воды является основным управляющим воздействием в контуре концентрации распущенной массы. Повышение расхода оборотной воды снижает концентрацию распущенной массы.

Материальный поток – отводимая суспензия (распущенная волокнистая масса) также характеризуется такой информационной переменной как расход. Расход отводимой распущенной массы (суспензии) и рециркуляционной распущенной массы регулируют уровень волокнистой распущенной массы в переливном ящике, а соответственно и в ванне гидроразбивателя.

Данный анализ позволит поставить задачу на управление рассматриваемым объектом и построить систему автоматического управления технологическим процессом переработки сухого брака в гидроразбивателе в условиях производства бумаги и картона. Для формализации концепции построения данной системы, рассмотрим и проанализируем существующие системы управления технологическим процессом роспуска сухого брака, с точки зрения определения их достоинств и недостатков. Такой анализ позволит обосновать выбранное решение по автоматизации, которое повысит качество и эффективность процесса роспуска оборотного брака.

Существует система автоматического управления роспуском, которую можно применять для роспуска полуфабрикатов и брака с БДМ и КДМ [1 - 3]. Суть этого способа управления заключается в том, что концентрацию распушенной массы измеряют косвенно посредством измерения уровня в центре ванны (или по вертикали над краем роторного диска) и на периферии, и в зависимости от их разности изменяют расход сырья и корректируют расход оборотной воды.

При работе гидроразбивателя в результате вращения массы и ванне образуется «воронка». Перепад уровней в ванне в центре и на периферии характеризует форму свободной поверхности «воронки». Форма свободной поверхности «воронки» или перепад уровней является показателем концентрации.

Известно, что качество роспуска сырья при постоянной скорости вращения ротора зависит от степени загрузки гидроразбивателя или концентрации в ванне. С увеличением загрузки гидроразбивателя перепад уровней уменьшается, т.е. концентрация увеличивается. Здесь перепад уровней, т. е. концентрация, регулируется изменением расхода разбавляющей оборотной воды по пропорционально-интегральному закону.

Также имеется контур регулирования уровня в ванне за счет изменения расхода отводимой и рециркуляционной массы по пропорциональному закону. Одновременно сигнал перепада уровней через позиционное регулирующее устройство и магнитный пускатель управляет включением и выключением электропривода транспортера подачи сырья. Таким образом, также обеспечивается отключение подачи сырья на роспуск при достижении минимально допустимого перепада уровней (максимальной допустимой концентрации в ванне). В случае забивания сита и превышения уровня на периферии максимального значения другое позиционное регулирующее устройство отключает автоматику регулирования уровня и сигнализирует оператору об аварийном положении на объекте.

Управление процессом роспуска макулатуры, поступающей в кипах или россыпью, осуществляется по схеме, изображенной на рис. 2. Здесь измеряют массовые расходы сырья и оборотной воды, определяют их соотношение (поз. 2) и расход отводимой (суспензии) и рециркуляционной массы изменяют в зависимости от их соотношения и уровня в демпфере (переливном ящике) (поз. 1). Такая система управления позволяет повысить качество роспуска сырья, так как она обеспечивает заданную концентрацию при роспуске, косвенно определяемую по соотношению расходов сырья и воды.

Проанализировав существующие способы управления можно выделить следующие недостатки:

- косвенное регулирование концентрации распушенной массы в ванне по перепаду уровней массы в центре воронки и на периферии не является очень точным методом определения данной величины, которая характеризует качество роспуска и его эффективность;

- конвейерная лента подачи сухого брака не работает непрерывно. Ее отключают при уменьшении перепада уровней допустимой величины, т.е. при достижении максимальной величины концентрации распушенной массы в ванне;

- производительность сухого брака не регулируется, а только контролируется;

- уровень массы в переливном ящике не регулируется, а только контролируется.

- нет взаимосвязанного регулирования системы концентрации распушенной массы, с системой производительности сухого брака, а также системой уровня массы в переливном

ящике.

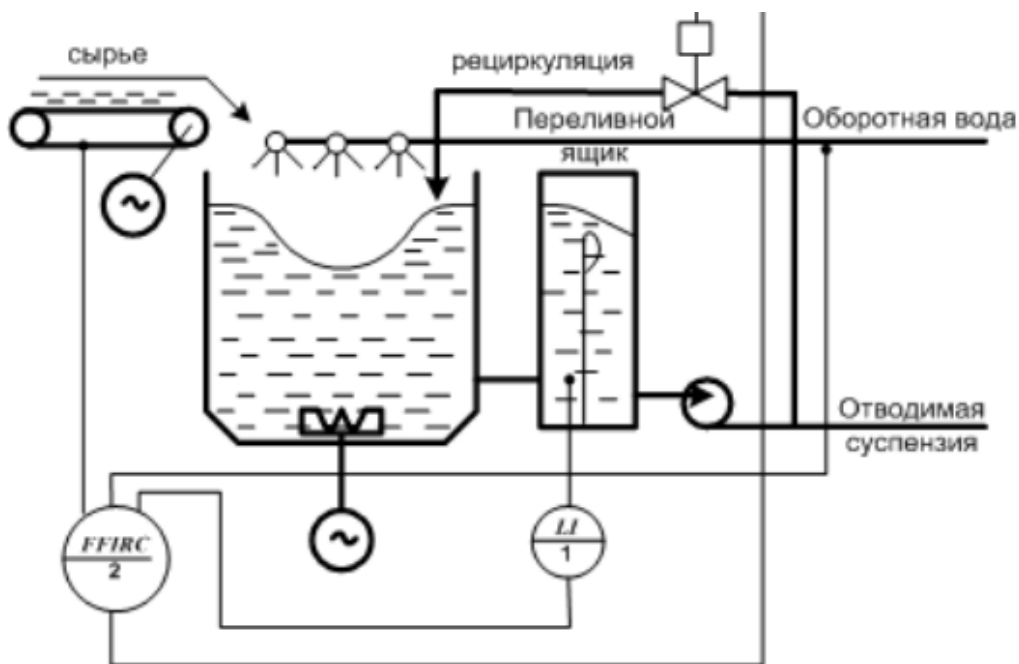


Рисунок 2 – Функциональная схема автоматизации роспуска оборотного брака в гидроразбивателе

К достоинствам можно отнести наличие САУ регулирования рециркуляционной массы в зависимости от уровня в переливном ящике и соотношения производительности сухого брака и расхода оборотной воды.

Итак, анализ существующих САУ с точки зрения концепции построения приводит к выбору такого способа управления, который будет учитывать достоинства существующего решения автоматизации к которому относится регулирование рециркуляционной массы по уровню распушенной массы в переливном ящике и соотношению расходов сухого брака с оборотной водой. А также обеспечит взаимосвязанное регулирование контуров концентрации распушенной массы и производительности сухого оборотного брака. К тому же следует косвенный способ регулирования концентрации заменить на прямой посредством соответствующих датчиков.

Выше приведенный анализ дает возможность сформулировать цель бакалаврской работы по разработке САУ процессом переработки сухого брака и определить круг решаемых задач для достижения поставленной цели.

Методика решения задачи. Анализ существующих САУ приводит к выбору способа управления, который будет включать следующие системы управления:

- САУ концентрации распушенной массы посредством изменения подачи оборотной воды и учитывающая в качестве возмущающего воздействия производительность сухого брака.

- САУ производительности сухого брака за счет изменения линейной скорости ленты транспортера.

- САУ уровня распушенной массы в переливном ящике. Данная система должна иметь двухконтурную структуру. Внешний контур – регулятор уровня распушенной массы в переливном ящике, выход которого является задающим воздействием для регулятора отводимой и рециркуляционной массы, с учетом коэффициента соотношения расходов сухого брака и оборотной воды.

Рассмотрим концепцию построения САУ ТП переработки сухого брака в гидроразбивателе (рис.3).

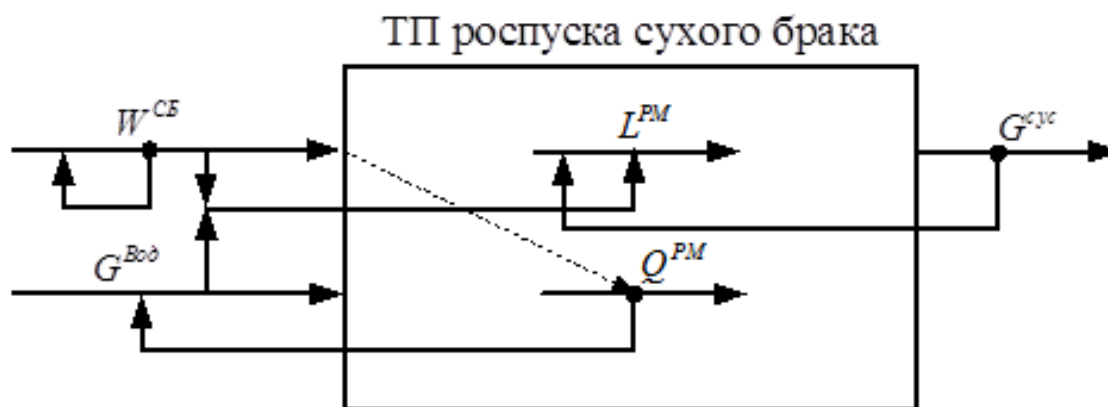


Рисунок 3– Концепция САУ ТП роспуска сухого брака в гидроразбивателе

Доказательство работоспособности выбранной концепции построения САУ переработки сухого брака, требует анализа динамических процессов, полученных методами математического моделирования, что будет приведено в последующих публикациях.

Выводы.

1. В качестве объекта управления рассмотрен технологический процесс роспуска сухого брака в гидроразбивателе. Выполнен анализ технологического процесса роспуска сухого как объекта управления с точки зрения основных информационных переменных, а также анализ существующих решений автоматизации, который позволил сформулировать концепцию разработки САУ.

2. Выполнено обоснование принятого решения автоматизации роспуска сухого брака в гидроразбивателе. Система автоматического управления является многосвязной с принципом управления по отклонению. САУ концентрации непрерывно учитывает текущую производительность, поступающего на конвейерной ленте сухого брака. Роспуск массы происходит в условии соблюдения материального баланса в ванне гидроразбивателя за счет поддержания уровня распущенной массы в переливном ящике с учетом текущих расходов сухого брака и оборотной воды, обеспечивающих требуемую концентрацию распущенной массы в ванне гидроразбивателя.

Перечень ссылок

1. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. I. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 2. Производство полуфабрикатов. — СПб.: Политехника, 2003. — 633 с.
2. Смоляницкий Б. 3. Переработка макулатуры. - М.: Лесная промышленность, 1980. – 176 с. 5. Теоретические основы производства окускованного сырья: Учебное пособие для вузов. Ковалев Д.А., Ванюкова Н.Д., Иващенко В.П. и др.. – НметАУ. – Днепропетровск: ИМА-пресс. – 2011. – 476 с.
3. Петровский, В. С. Автоматизация технологических процессов и производств лесопромышленного комплекса [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств (лесотехническая отрасль)» направления подготовки «Автоматизированные технологии и производства» / В. С. Петровский ; Издательство «Лань» (ЭБС). – Воронеж : ВГЛТА, 2011. – 400 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/4069/>.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ SIMC-МЕТОДА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Свинаков И.С., студ.; Кобец Д.В., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск, ЛНР)

Качество работы современных локальных систем управления промышленными технологическими процессами в значительной степени зависит от того, насколько правильно выбраны настройки регуляторов, входящих в состав этих систем. Проблема правильного выбора настроек регуляторов осложнена тем, что в процессе эксплуатации автоматической системы параметры объекта управления изменяются, и для обеспечения соответствия между этими параметрами и настраиваемыми параметрами регуляторов, требуется корректировка последних. На практике, как правило, такая корректировка не производится, поэтому во многих случаях качество работы систем управления далеко от желаемого [1].

Существует немало вариантов решения описанной проблемы, зачастую при помощи адаптивного управления [1-4], но многие из них сложны с точки зрения программной и технической реализации. Однако технологические процессы теплоэнергетической отрасли являются инерционными и построение адаптивной системы – избыточно. Поэтому лучше построить периодически настраивающуюся систему. При этом алгоритм адаптации будет более простым по сравнению с известными [2].

Целью является разработка программы для периодической перенастройки регулятора в режиме реального времени на основании SIMC (Skogestad internal model control)-метода.

Процедура SIMC состоит из двух этапов [5]:

- получение модели объекта первого или второго порядка;
- расчёт параметров регулятора на основе полученной модели.

Рассчитываются параметры ПИ-регулятора, если полученная модель имеет первый порядок, или рассчитываются параметры ПИД-регулятора, если полученная модель имеет второй порядок.

Согласно [5], получить модель объекта управления можно двумя способами:

- на основании реакции разомкнутой системы на изменение задающего воздействия;
- на основании реакции замкнутой системы на изменение задающего воздействия.

Попытка получить реакцию разомкнутой системы приведёт к тому, что выходной сигнал регулятора, из-за наличия интегральной составляющей, достигнет предельного значения, и тем самым нарушит ход технологического процесса, поэтому будет более целесообразно использование реакции замкнутой системы в качестве исходных данных для процедуры периодической настройки.

Самым известным экспериментом с замкнутой системой является эксперимент Циглера-Николса, где система доведена до незатухающих колебаний с помощью П-регулятора. Одним из недостатков метода является то, что необходимо вывести систему на границу устойчивости. Еще одним недостатком является то, что данный метод не подходит для простых процессов второго порядка. Наконец, метод предполагает использование только двух частей информации (коэффициент усиления контроллера и период колебаний), поэтому данный метод не может работать с широким диапазоном процессов первого порядка с задержкой, которые, как мы знаем, описываются тремя параметрами (коэффициент усиления, постоянная времени и запаздывание).

Вместо того, чтобы выводить систему на границу устойчивости (например, метод Циглера-Николса), используется П-регулятор с коэффициентом усиления, составляющим примерно половину этого значения, таким образом, результирующее перерегулирование при изменении задающего воздействия составляет около 30 %.

Система должна быть в установившемся состоянии изначально, то есть до изменения задающего воздействия. Затем, на основании анализа реакции замкнутой системы можно получить следующие параметры (рисунок 1).

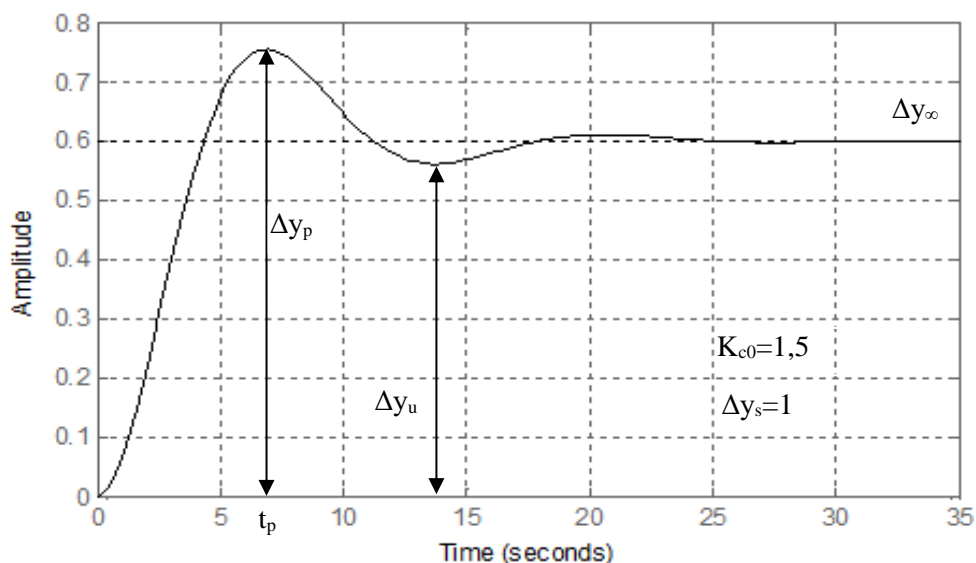


Рисунок 1 – Получение параметров реакции замкнутой системы

На рисунке 1 приведены следующие обозначения:

- K_{c0} – коэффициент усиления регулятора используемый в эксперименте;
- Δy_s – изменение задающего воздействия;
- Δy_p – максимальное значение выходной величины;
- t_p – значение времени, соответствующее максимальному значению выходной величины, с;
- Δy_u – значение выходной величины при первом недорегулировании.

Используя полученные параметры, вычисляют относительное перерегулирование D и абсолютное значение относительной статической ошибки B

$$D = \frac{\Delta y_p - \Delta y_\infty}{\Delta y_\infty},$$

$$B = \left| \frac{\Delta y_s - \Delta y_\infty}{\Delta y_\infty} \right|.$$

Далее вычисляют вспомогательные параметры A и r

$$A = 1,152D^2 - 1,607D + 1,$$

$$r = \frac{2A}{B}.$$

и рассчитывают параметры модели первого порядка с запаздыванием

$$k = \frac{1}{K_{c0} \cdot B},$$

$$\theta = t_p \cdot (0,309 + 0,209e^{-0,61r}),$$

$$\tau_1 = r\theta,$$

где k – коэффициент передачи модели;
 θ – запаздывание модели, с;

τ_1 – постоянная времени модели, с.

Коэффициент передачи K_c и постоянная интегрирования τ_i ПИ-регулятора определяются следующим образом

$$K_c = \frac{1}{k} \frac{\tau_1}{\tau_c + \theta},$$
$$\tau_i = \tau_1,$$

где τ_c – желаемая постоянная времени замкнутой системы, и это единственный параметр настройки для регулятора.

На основании вышеприведенной информации в пакете прикладных программ Matlab разработана программа для вычисления параметров настройки регулятора.

Для имитации работы системы, получения вектора значений выходной величины и вектора значений времени, создана её модель при помощи графической среды имитационного моделирования Simulink/Matlab.

Передаточная функция объекта управления имеет следующий вид

$$W_{об}(p) = \frac{1}{(2,8p + 1)(0,5p + 1)(0,1p + 1)} e^{-1,2p}.$$

На основании расчётов, с использованием разработанной программы, получены параметры модели объекта первого порядка: $k=1$; $\theta = 1,8$ с; $\tau_1 = 3,2$ с.

Согласно [5], чтобы иметь выходные характеристики с высоким быстродействием параметр настройки τ_c рекомендуется выбирать равным времени запаздывания $\tau_c = \theta = 1,8$ с. Для проверки этого утверждения задан диапазон $\tau_c = 1 \dots 3$ с, построены графики переходных процессов по заданию и по возмущению, и вычислены значения модульного взвешенного критерия

$$J = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt.$$

На рисунках 2 и 3 и в таблицах 1 и 2 приведены сравнительные характеристики систем, синтезированных оптимально и по рекомендации [5]

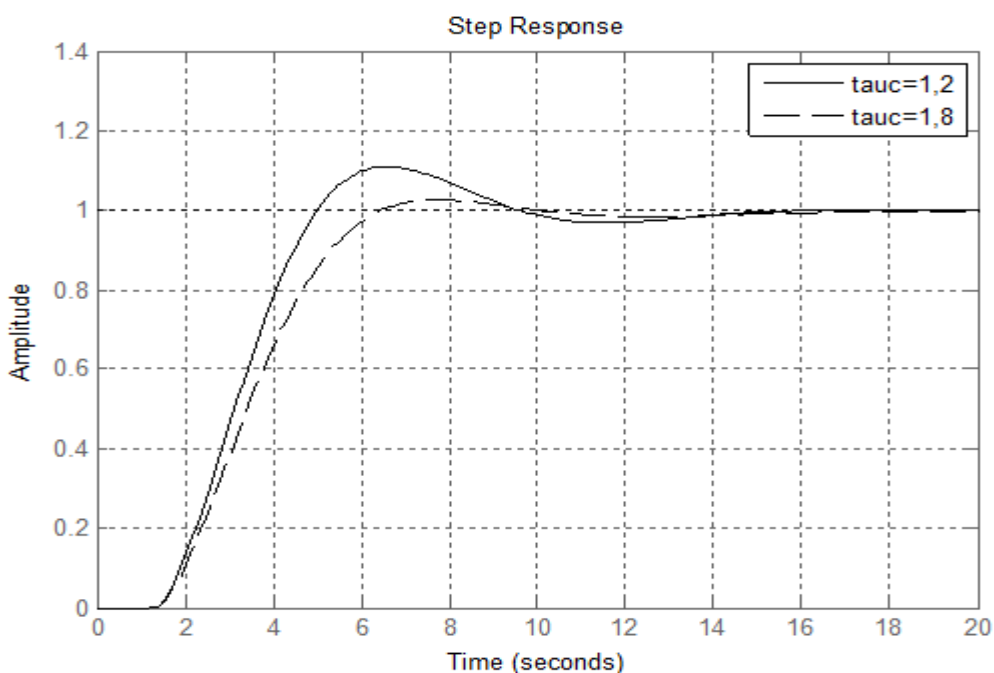


Рисунок 2 – Графики переходных процессов по заданию в замкнутой системе

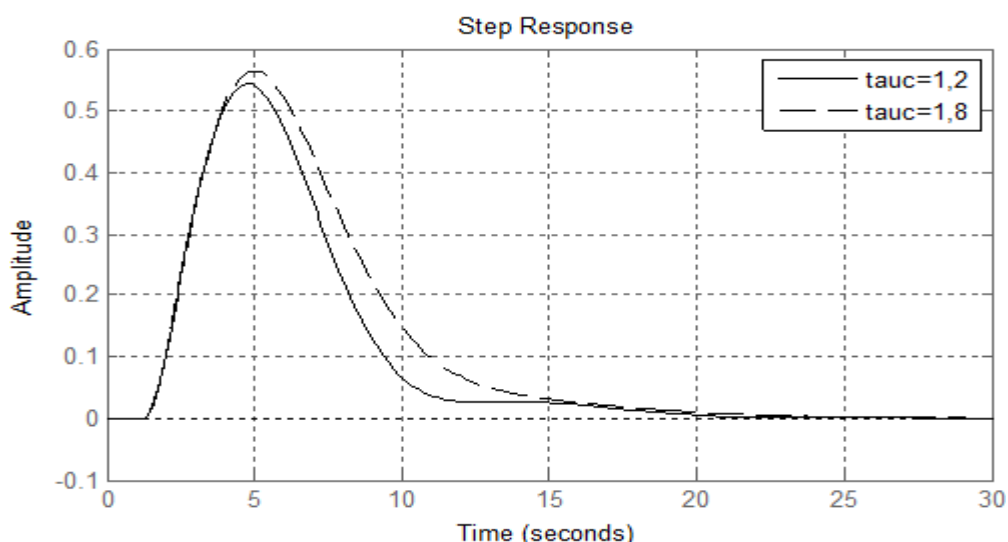


Рисунок 3 – Графики переходных процессов по возмущению в замкнутой системе

Таблица 1 – Прямые показатели качества по заданию

Показатель качества	При $\tau_c = 1,2$ с	При $\tau_c = 1,8$ с
Время переходного процесса, с	8,37	5,77
Перерегулирование, %	10,9	2,63
Время нарастания, с	2,57	3,33

Таблица 2 – Прямые показатели качества по возмущению

Показатель качества	При $\tau_c = 1,2$ с	При $\tau_c = 1,8$ с
Время переходного процесса, с	11,9	15,6
Максимальное динамическое отклонение	0,544	0,564

Вывод: рекомендации по выбору τ_c [5] близки к оптимальным, поскольку, при том, что значение критерия J для оптимальной системы ($\tau_c = 1,2$ с) меньше чем при $\tau_c = 1,8$ с ($3,6253 < 3,7287$), показатели качества при $\tau_c = 1,8$ с лучше чем при $\tau_c = 1,2$ с, за исключением времени нарастания, а переходные процессы по возмущению практически одинаковы при обоих исследуемых значениях τ_c . Параметры настройки ПИ-регулятора при $\tau_c = \theta = 1,8$ с: $K_c = 0,9$; $K_i = 0,31 \text{ с}^{-1}$ ($K_i = 1/\tau_1$).

Результаты исследования с другими объектами аналогичны: параметр τ_c можно принимать равным $\tau_c = \theta$ без последующей оптимизации.

Перечень ссылок

1. Шубладзе А.М. Автоматически настраиваемые промышленные ПИ и ПИД регуляторы. Алгоритмическое программное обеспечение / А.М. Шубладзе, С.И. Кузнецов // Автоматизация в промышленности. 2007. – С. 15-17.
2. Резков И. Г. Адаптивные регуляторы с конечно-частотной идентификацией : дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук : 05.13.01 / Резков Илья Геннадьевич. М., 2014. – 93 с.
3. Astrom, K.J. and T. Hagglund (2006). Advanced PID Control. ISA Instrument Society of America.
4. Cheng-Ching Yu (2006). Autotuning of PID Controllers. A Relay Feedback Approach. 2nd ed. Springer.
5. Skogestad, S. and C. Grimholt (2012). The SIMC method for smooth PID controller tuning. J. Process Control 20, 1-29.

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ПАКЕТЕ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ MATLAB

Скиданов Н.Е., студ.; Суков С.Ф. проф., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Система технического зрения выполняет функцию сбора и обработки визуальной информации при помощи цифровой камеры и обычно применяется вместе с другими системами, которые управляют сложными техническими средствами. Такие системы широко применяются в современном мире как в повседневной жизни (например, система считывания штрих-кода в магазине), так и в более узконаправленных областях (например, система проверки качества сборки компьютерной платы). Обычно при правильной настройке такой системы вероятность ошибки намного меньше, чем у человека, что и является основной причиной использования таких систем.

Системы технического зрения в последнее время приобрели большую популярность за счет увеличения популярности систем искусственного интеллекта, такие системы используются в беспилотных автомобилях для получения актуальной информации о ситуации на дороге, где и находится беспилотный автомобиль. Также такие системы используются для распознавания лица или отпечатков пальцев человека, в целях более лучшей защиты информации и различных объектов, куда доступ посторонним лицам запрещен.

Задачу распознавания в среде прикладных программ MATLAB можно реализовать при помощи пакета Image Processing Toolbox, который предназначен для обработки и анализа изображений.

Image Processing Toolbox применяется инженерами и учеными в таких областях как:

- разработка систем сжатия;
- передачи и улучшения изображений;
- разработка систем наблюдения и распознавания;
- биометрика;
- тестирование полупроводников;
- микроскопия;
- разработка сенсоров;
- материаловедение и других.

Подключить к MATLAB обычную веб-камеру можно при помощи пакета Image Acquisition Toolbox Support Package for OS Generic Video Interface.

Примером системы технического зрения является система по распознаванию цвета элемента в заданной области. Для реализации данной задачи необходимо получить изображение, обработать его и проанализировав заданный участок определить преобладающий цвет.

Определение цветов будет происходить при помощи разложения цвета на три составляющие: R – red; G – green; B – blue. Согласно аддитивному синтезу цвета с применением трех основных излучений любой цвет можно представить, как смешение трех этих излучений. Наглядно данное представление цветов изображено на рис. 1.

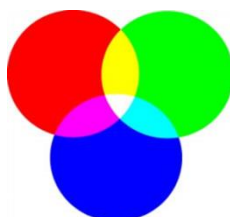


Рисунок 1 – Аддитивный синтез цвета с применением трех основных излучений

Если смешать все три компоненты получится пиксель белого цвета, однако если все три компоненты будут отсутствовать, тогда пиксель станет черным. Если представить отсутствие любой из компонент как нуль, а максимальную интенсивность излучения как единицу, тогда любой из цветов можно представить через три эти компоненты, смешанные с различной интенсивностью от нуля до единицы.

Первым этапом является получение изображения с камеры. Зная, что все веб-камеры подключаются к видеоадаптеру 'winvideo' и каждому устройству присваивается свой id, по которому и происходит подключение к веб-камере. Таким образом зная имя веб-камеры, которое она имеет можно получить ее id и подключиться к ней. Реализовать это можно при помощи следующего кода:

```
for i = 1:4
    obj = imaqhwinfo('winvideo');
    objInfo = obj.DeviceInfo(1,i);
    if (strcmp(objInfo.DeviceName), 'USB Camera')
        DeviceID = i;
        break;
    end
end
Camera = videoinput('winvideo', DeviceID, 'YUY2_640x480');
```

В результате будет создан объект Camera, который можно использовать дальше для получения изображения с этой веб-камеры. Далее необходимо получить изображение с камеры, однако полученное изображение будет получено с наложенной маской. Для того чтобы избавиться от маски и привести изображение в привычный формат необходимо его обработать. Сделать это можно с помощью следующего кода:

```
frame = getsnapshot(obj);
[N, M, s]=size(frame);
frame = ybcr2rgb(frame);
rgbImage = double(frame)./255;
figure, imshow(rgbImage);
title('Исходное изображение');
```

Результатом работы станет получение текущего изображения с камеры, результат приведен на рис. 2.



Рисунок 2 – Приведенное к RGB формату изображение с веб-камеры

Полученное изображение представляет собой двумерную матрицу пикселей, размерностью 640 на 480 элементов. Поставим задачу – распознать цвет центрального

элемента. При помощи MATLAB можно узнать координаты угловых пикселей центрального элемента. Зная это появляется представление какую область изображения необходимо анализировать, никак не учитывая остальные пиксели. Задаем координаты этих пикселей, а также вычисляем общее количество анализируемых пикселей:

```
y1 = 165; y2 = 306; x1 = 258; x2 = 393;  
count_pixel = (y2 - y1) * (x2 - x1);
```

Задаем возможные цвета центрального элемента в RGB-формате и стандартные отклонения:

```
red = [0.9 0.3 0.5]; green = [0.3 0.8 0.5]; blue = [0.5 0.85 0.92];  
yellow = [0.9 0.9 0.43]; white = [0.85 0.85 0.85];  
std_r=0.2; std_g=0.2; std_b=0.2;
```

Задав переменную-счетчик для подсчета совпадающих пикселей с анализируемым цветом, пройдя всю область и найдя количество совпадающих пикселей можно посчитать процент пикселей определенного цвета. Посчитав процент всех цветов в заданной области можно принять, что если процент одного из цветов больше 50%, то этот цвет является преобладающим. Реализовав данную идею как функцию MATLAB и вызывая ее можно получить результат, изображенный на рис. 3.



```
Command Window  
  
305  
  
306  
  
ans =  
green  
  
fx >>
```

Рисунок 3 – Результат работы функции определения цвета центрального элемента

Как видно функция справилась с поставленной задачей, однако у такой реализации есть недостатки. Главным недостатком является чувствительность к освещению, при плохом или достаточно сильном прямом освещении оттенок поверхности анализируемого объекта может меняться в значительной степени и в таком случае данная система может работать некорректно и ошибочно определять цвет, что может послужить причиной неправильной работы других узлов сложной системы. Для решения данной проблемы необходимо использовать более качественное видеоборудование, а также обеспечить правильное освещение, либо использовать более сложные алгоритмы, предназначенные для распознавания образов.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ХРАНЕНИЯ МУКИ НА БУЛОЧНО-КОНДИТЕРСКОМ КОМБИНАТЕ

Смирнов В.И., студ.; Чернышев Н.Н., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР)

Введение.

На Донецком булочно-кондитерском комбинате используются два способа хранения муки – тарное (в мешках) и бестарное (в силосах). На качество хлебобулочных изделий оказывают влияние огромное количество факторов. Одними из важнейших среди них являются свойства муки, из которой изготавливаются эти изделия. Возрастающие объемы производства при расширении номенклатуры выпускаемой продукции, а также увеличение цены на муку на фоне конкурентной борьбы с другими производителями аналогичной продукции обостряют проблему хранения данного сырья. Бестарное хранение муки по сравнению с тарным способом хранения и транспортировки имеет такие преимущества как: 1) возможна автоматизация процесса; 2) исключение тяжелых физических работ; 3) мука аэрируется, а также улучшается ее качество; 4) уменьшается распыл муки.

В течении рабочей смены оператор склада бестарного хранения муки (БХМ) кроме силосов, постоянно имеет дело еще с большим количеством другого оборудования. Во избежание переполнения силосов или при возникновении аварийной ситуации оператор должен быть постоянно внимателен и сосредоточен на них чтобы вовремя выключить подачу муки в тот или иной бункер. Принимая во внимание этот факт наиболее точным и более эффективным является бестарное хранение муки, которое может производиться с помощью автоматической системы на базе современных программно-технических средств [1].

Цель создаваемой системы – повышение эффективности управления технологическим процессом хранения муки с использованием системы автоматического управления микроклиматом в силосе.

Функции, которые должна выполнять система автоматического управления микроклиматом хранения муки на булочно-кондитерском комбинате:

1. Информационные функции.
2. Функции управления.
3. Функция защиты и контроля.

Основная часть.

Под системой бестарного хранения муки (БХМ) (рис. 1) понимают весь комплекс оборудования, где основными составляющими выступают транспортные системы, силоса для хранения, а также системы для измерения веса и объема продукта в силосе.

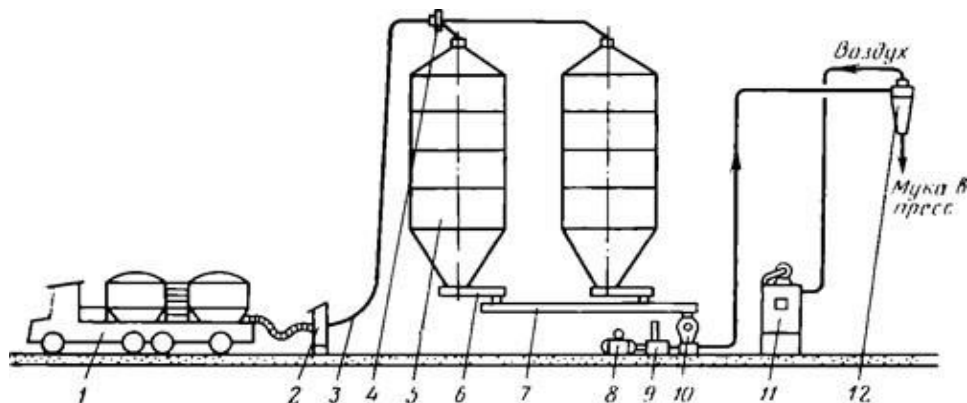


Рисунок 1 - Схема склада бестарного хранения муки

На рис. 1 введены обозначения: 1 - автомуковоз; 2 - щиток приемный; 3 - мукопровод; 4 - переключатель; 5 - силос; 6 – дозатор; 7 - шнековый транспортер; 8 - электродвигатель; 9 - воздуходувка; 10 - центробежное сито; 11 - фильтр воздуха; 12 - бункер над прессом.

Регулируемыми параметрами микроклимата процесса хранения муки являются такие процессы как (рис. 2):

1. Температура воздуха в силосе (T_c), рост которой приводит к процессу самосогревания муки и окончательной порче продукта (затхлый запах, потеря хлебопекарных свойств), снижение температуры приводит к замедлению процесса созревания, что также приводит к непригодности муки для использования её при выпечке хлебобулочных изделий.

2. Влажность воздуха в силосе (M_c), при повышении которого появляется плесень, а занижение данного параметра также может привести к замедлению процесса созревания муки.

3. Химический состав воздуха (концентрация углекислого газа (CO_2) Q_c).

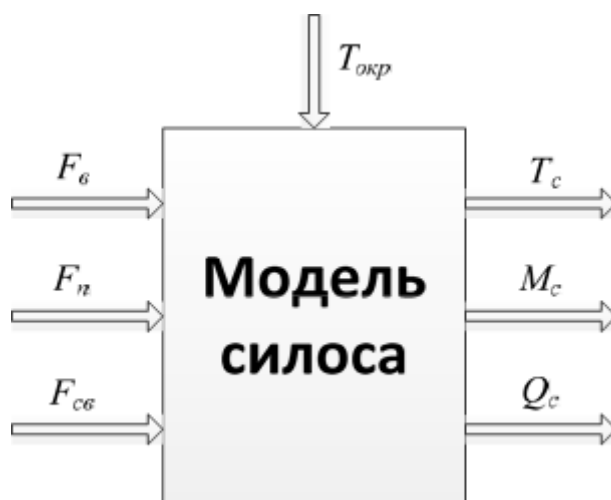


Рисунок 2 – Силос для хранения муки как объект управления

Необходимый микроклимат в силосе обеспечивается за счет изменения:

1. Интенсивности вентиляции.
2. Подготовки поступающего воздуха.

При анализе существующей системы управления на Донецком булочнокондитерском комбинате выявлено, что в настоящее время автоматизация осуществляется по средствам локальных систем управления, которые обеспечивают контроль и автоматический пуск, а также остановку и автоматическую защиту.

Для бестарного хранения на предприятии установлены системы транспортировки и силосы, которые имеют системы автоматики, не отвечающие запросам современных предприятий. Они устарели и требуют постоянного обслуживания и ремонта, а при отсутствии запчастей, в основной массе, и вовсе не работают. В следствии этого оператор склада БХМ остается без надежных средств контроля. Ему остается только надеется на свой опыт, благодаря которому ответственность при проведении данной операции является важнейшим критерием для сохранения качества муки. Большинство руководителей предприятий задумываются об автоматизации процесса бестарного хранения муки потому, что при больших объемах хранимой продукции, затраты, обусловленные ухудшением качества, становятся особенно большими [1].

Анализ современных решений в области транспортировки мук и автоматизации процесса бестарного хранения показал, что автоматическая система управления состоит из трёх уровней (рис. 3) [2,3].

Нижний уровень - силовая коммутационная аппаратура, которая собрана в отдельном силовом шкафу, непосредственно воздействует на исполнительные механизмы: дозаторы, приводы транспортёров, компрессоры и т. д.

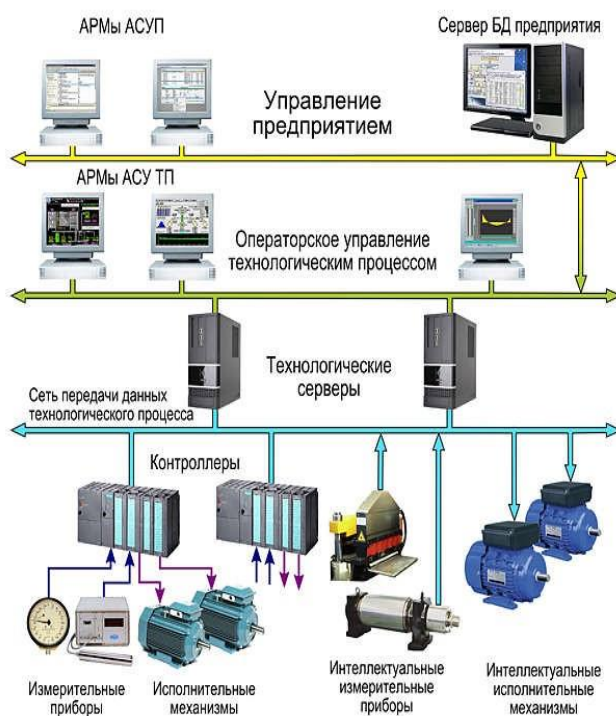


Рисунок 3 – Иерархический принцип построения САУ склада БХМ

Средний уровень - на основе программируемого логического контроллера реализует алгоритм управления цехом. Опрос датчиков производится в реальном времени, а также осуществляется взаимодействие с нижним и верхним уровнем управления.

Верхний уровень представляет собой автоматизированное рабочее место оператора и наладчика цеха бестарного хранения муки.

На рис. 4 представлена структурная схема САУ микроклиматом хранения муки в программе Simulink.

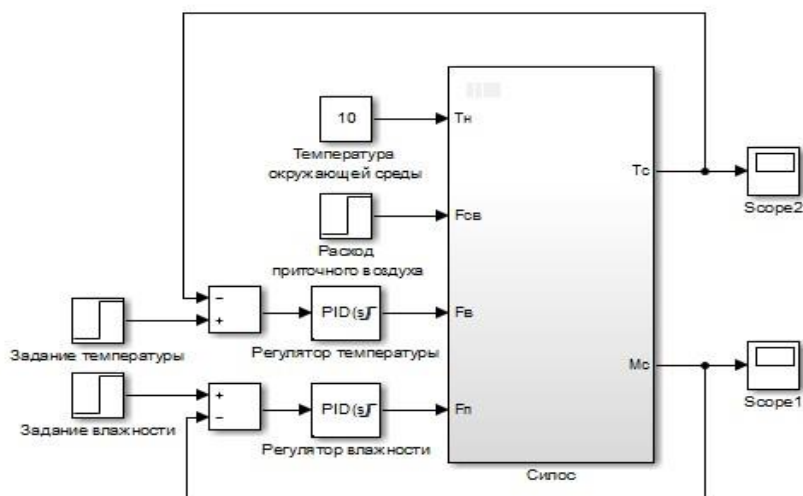


Рисунок 4 - Структурная схема САУ микроклиматом хранения муки

При моделировании переходных процессов в САУ микроклиматом хранения муки в качестве заданного значения температуры примем 11 °С, а влажности – 70%. В результате моделирования получены графики переходных процессов (рис. 5-6).

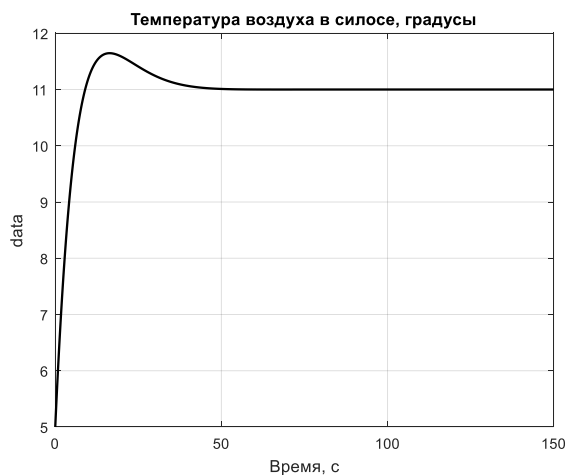


Рисунок 5 – График переходного процесса температуры воздуха в силосе

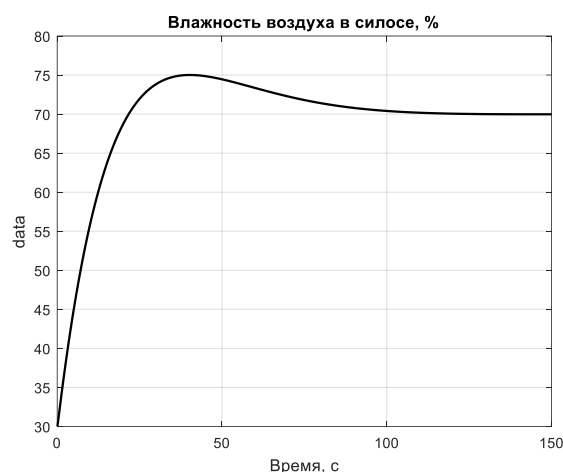


Рисунок 6 – График переходного процесса влажности воздуха в силосе

Выводы.

1. Проведен анализ параметров, которые оказывают влияние на качество готовой продукции. Показано, что качественные параметры готового продукта зависят от параметров микроклимата в силосе, поэтому их стабилизация является важным фактором в обеспечении эффективности технологического процесса.

2. Составлена структурная схема САУ и получены графики переходных процессов микроклимата хранения муки основанная на принципе обратной связи по каждому параметру микроклимата.

Перечень ссылок

1. Благовещенская, М.М. Автоматика и автоматизация пищевых производств: учебник [для студентов инженерно-технологических специальностей пищевых высших учебных заведений]/ М.М. Благовещенская, Н О Воронина, А.В. Казаков, И.К. Петров, Е.А. Прокофьев. – Москва, 1991. - С. 81-83.

2. Денисенко, В.В. ПИД – регуляторы: вопросы реализации. Часть 1 / В.В. Денисенко // СТА. – 2007. – №4. – С. 86-97.

3. Нестеров, А. Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Книга 1 - СПб.: Деан, 2006. – 450 с.

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДОГРЕЙНЫМ КОТЛОМ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО МИКРОРАЙОНА

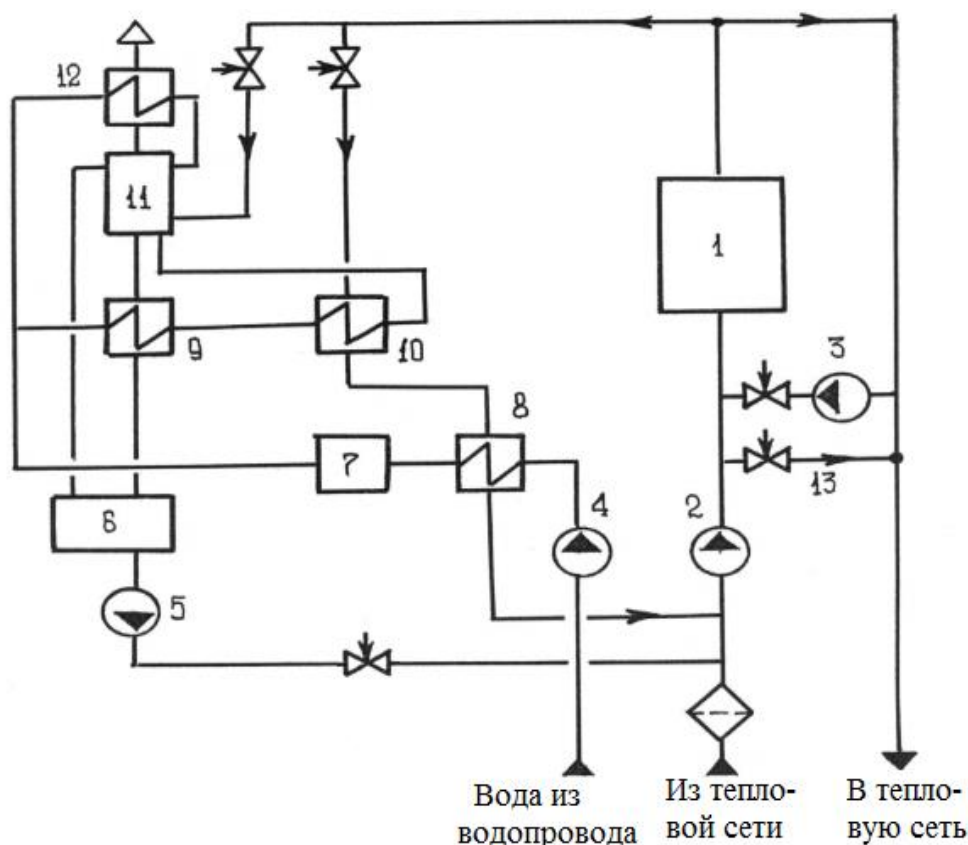
Ахметжанов Р.Д., студент; Федюн Р.В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Котельная системы централизованного теплоснабжения городского микрорайона предназначена для отопления производственных и жилых зданий, а также объектов социального и культурно-бытового назначения. Чаще всего, такие котельные реализуются на основе водогрейных котлов, которые работают на природном газе.

Технологические процессы, происходящие в водогрейном котельном агрегате во время его работы, характеризуются рядом взаимосвязанных параметров. Изменение одного из них, как правило, оказывает влияние и на остальные параметры: температуру прямой и обратной сетевой воды, расход первичного воздуха, расход топлива – природного газа, отходящих дымовых газов и т.д.

Котельная предназначена для нагрева рабочей жидкости (воды) для системы отопления или пароснабжения, расположена в одном техническом помещении, используются при централизованном теплоснабжении зданий. Рассматриваемая районная котельная оборудована водогрейными котлами КВ-Г-7.56-150 (рис.1).



1 – котел; 2 – сетевой насос; 3 – рециркуляционный насос; 4 – питательный насос; 6 – бак подпитывающей воды; 7 – водоподготовительная установка; 8 – подогреватель сырой воды; 9, 10 – подогреватели ХВО; 11 – деаэратор; 12 – охладитель испарения; 13 – линия перепуска

Рисунок 1 - Технологическая схема водогрейной котельной

Водогрейный котел – это устройство, предназначенное для получения горячей воды за счет тепла, выделяемого при сжигании топлива.

Водогрейный котел прямоточного типа КВ-Г-7,56 представляет собой стальную трубную систему, скомпонованную в одном транспортабельном блоке, и работает на газовом топливе. Котел рассчитан на подогрев воды от 70 до 150 °С.

Рассматриваемый газовый котел имеет горизонтальную компоновку, единый поперечный профиль. Радиационные поверхности нагрева котлов КВ-Г образуются левым и правым боковыми экранами, двумя двухсветными экранами и потолочным экраном. Для заданного направления движения воды по топочным экранам верхние коллекторы имеют глухую перегородку. Экраны соединены между собой в верхней части котла перепускными трубами.

Конвективная часть нагрева состоит из двух секций – правой и левой, сваренных одними концами в верхние, а другими – в нижние коллекторы, т.е. представляют собой нижние и боковые части поверхности нагрева. В боковые поверхности нагрева сварены четыре пакета, набранных из П-образных ширм, выполненных из труб. Для направления движения воды в змеевиках ширм в боковых трубах установлены глухие перегородки. Ширмы пакетов расположены таким образом, что их трубы образуют шахматный пучок. Для разделения конвективной шахты и топки крайние ширмы, обращенные в сторону топки, выполнены в виде газоплотной сварной панели с мембранами.

Газовые котлы КВ-Г используют три подовые горелки, которые размещены между секциями вертикальных топочных экранов. Горелка имеет два ряда отверстий диаметром 1,5 мм, расположенных в шахматном порядке.

Водогрейный котел КВ-Г работает по принципу противотока. Обратная вода из тепловой сети поступает во входной коллектор конвективной части нагрева. Из коллектора вода двумя потоками, вправо и влево, проходит по стоякам и змеевикам и попадает в выходные коллекторы (правый и левый).

Вода из этих коллекторов по перепускным трубам попадает в крайние задние коллекторы потолочного экрана, из которых по одиннадцати крайним трубам проходит по потолку, переходя во фронтальной экран и по нему в передний коллектор. В коллекторе потоки смешиваются и по одиннадцати средним трубам вода попадает в задний (средний) коллектор потолочного экрана. Из этого коллектора вода двумя перепускными трубами подается в заднюю часть верхнего коллектора левого топочного экрана. Затем по задним трубам вода опускается вниз и попадает в нижний коллектор. По нему вода проходит вперед и по передним трубам поднимается в переднюю часть верхнего коллектора. Вода, двигаясь последовательно по всем экранам, нагревается и из задней части верхнего коллектора правого экрана поступает в выходной коллектор котла. Из коллектора вода поступает в тепловую сеть.

В горелку котла поступают воздух и газ, смешиваются и сжигаются факельным способом. В результате процесса горения образуются газообразные продукты. Они уносятся с помощью дымососа, и выбрасываются в атмосферу. При сжигании газового топлива необходимо обеспечить хорошее предварительное перемешивание газа с воздухом. Подогрев газозвушной смеси и химическая реакция горения протекают очень быстро. Основным фактором длительности горения является время, затраченное на перемешивание газа с воздухом в горелке. От быстроты и качества перемешивания газа с необходимым количеством воздуха, зависит скорость и полнота сгорания газа, длина факела топки и температура пламени. Для поддержания процесса горения дымососом создается необходимое разрежение.

Особенностью работы водогрейных котлов является то, что в хвостовые поверхности, выполненные из стальных труб, поступает вода с низкой температурой, которая может оказаться ниже температуры точки росы продуктов сгорания. Это обстоятельство приведёт к интенсивной низкотемпературной коррозии хвостовых поверхностей нагрева. При работе котла на природном газе температура воды на входе в котел не должна быть ниже 70 °С.

Для поддержания необходимой температуры воды на входе в водогрейный котел осуществляется рециркуляция нагретой в водогрейном котле воды рециркуляционным насосом.

Чтобы обеспечить полное сжигание топлива необходимо регулировать соотношение "топливо-воздух". Если будет избыток воздуха, то часть тепла будет уходить в трубу. Если же воздуха будет недостаточно, то топливо сгорит не полностью.

Таким образом, выполненный выше анализ особенностей функционирования водогрейных котлов позволил сформулировать требуемые функции контроля и управления разрабатываемой САУ:

- контроль температуры прямой сетевой воды;
- контроль температуры обратной сетевой воды;
- контроль выхода дымовых газов;
- контроль расхода воздуха;
- контроль расхода топливного газа;
- контроль давления в топке котла;
- автоматическое управление подачи топливного газа;
- автоматическое управление подачи воздуха;
- автоматическое управление выводом дымовых газов из котла.

С учетом выполненного анализа особенностей водогрейного котла получена схема материальных потоков и их информационный переменных (рис.2).

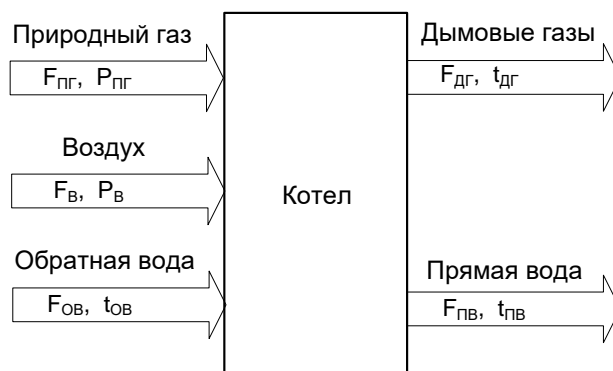


Рисунок 2 - Схема материальных потоков водогрейного котла

Входные материальные потоки – природный газ, воздух и обратная вода, взаимодействуя между собой в котле, превращаются в его выходные материальные потоки – прямую воду и дымовые газы (рис.2).

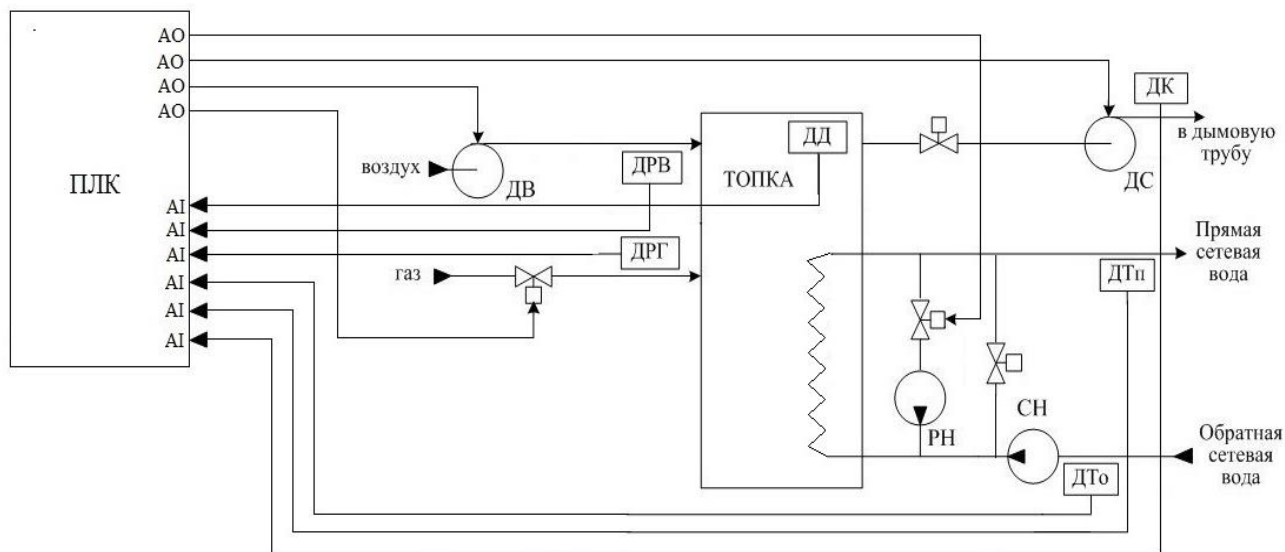
Основными управляемыми переменными, которые наиболее полно характеризуют процесс функционирования водогрейного котла являются температура прямой воды на выходе котла $t_{пв}$ и разрежение в топке котла P_T . Управляющие воздействия: расход природного газа $F_{пг}$ и расход воздуха $F_в$ – при управлении температурой прямой сетевой воды $t_{пв}$; расход дымовых газов $F_{дг}$ – при управлении разрежением в топке котла P_T . Основными возмущающими воздействиями для рассматриваемого объекта управления является температура $t_{ов}$ и расход $F_{ов}$ обратной воды на входе в котел (рис.2).

Характерной особенностью теплового производства является необходимость поддержания количества выходного тепла в норме относительно температуры окружающей среды. Вследствие чего требуется постоянное измерения температуры окружающей среды и изменение количества подачи топлива. Так как данные изменения количества топлива зависят от операторов котельной, то объект управления обладает не большим временем запаздывания и негативно влияет на экономию топлива.

Температура на выходе из котла измеряется датчиком температуры прямой сетевой воды ДТп, на входе котла – датчиком температуры обратной сетевой воды ДТо. Измеренное значение температуры сетевой воды подается на аналоговый вход ПЛК, где сравнивается с

заданными значениями. Сигнал рассогласования по температуре сетевой воды преобразуется в управляющее воздействие. ПЛК выдает рассчитанное управляющее воздействие на исполнительный механизм – управляемую задвижку на линии топливного газа.

ДТп - датчик температуры прямой сетевой воды; ДТо - датчик температуры обратной



сетевой воды на входе котла; ДК - датчик концентрации; ДВ – дутьевой вентилятор; ДРВ - датчик расхода воздуха; ДРГ - датчик расхода топливного газа; ДД - датчика давления в топке; ДС - дымосос; СН – сетевой насос; ПЛК – промышленный логический контроллер

Рисунок 3 - Функциональная схема САУ

Расход газа и воздуха измеряется датчиками расхода воздуха ДРВ и топливного газа ДРГ. Измеренные значения с этих датчиков отправляется на аналоговый вход ПЛК, также на него приходит сигнал с датчика концентрации ДК, который стоит на линии выхода дымовых газов. Учитывая влияние всех этих параметров, контроллер выдает управляющее воздействие на исполнительный механизм - электропривод дутьевого вентилятора.

В процессе сгорания образуются дымовые газы которые нужно выводить из котла для того чтобы создать в нем необходимое разрежение. На линии поступления воздуха в котел стоит датчик расхода воздуха ДРВ сигнал с которого поступает на аналоговый вход ПЛК, также на него поступает сигнал с датчика давления в топке ДД. Контроллер выдает управляющие воздействие на исполнительный механизм – дымосос ДС

Для котлов, сжигающих только газообразное топливо, температура воды на входе должна быть не менее 70°C во избежание появления коррозии и для обеспечения паспортной производительности котла. Для этого сигнал с датчика обратной сетевой воды ДТо поступает на аналоговый вход ПЛК, после чего формируется управляющее воздействие на исполнительный механизм – управляемую задвижку на линии рециркуляции.

Таким образом, разработанная функциональная схема САУ технологическим процессом управления параметрами водогрейных котлов позволяют полностью реализовать сформулированные функции контроля и управления данным объектом.

Перечень ссылок

1. Калмаков А.А., Ю. Я. Кувшинов, С. С. Романова, С. А. Щелкунов; Под ред. В. Н. Богословского Автоматика и автоматизация систем теплогасоснабжения и вентиляции. М.: Стройиздат, 1986. — 479 с.
2. Олссон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления. / Г. Олссон, Дж. Пиани. Издание третье, переработанное и дополненное, СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
3. Тарасюк В.М. Эксплуатация котлов: Практическое пособие для оператора котельной, г. Москва, 2008 - 272 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДОГРЕВАТЕЛЕМ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Илюк И.Б., студент; Федюн Р.В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Регенеративный подогрев питательной воды и основного конденсата является важнейшим методом повышения эффективности и экономичности современных тепловых электрических станций (ТЭС). Для регенеративного подогрева используется греющий пар, отработавший в турбине. В зависимости от начальных параметров острого пара и количества его отборов на регенерацию, повышение КПД турбины за счет регенеративного подогрева конденсата (питательной воды) может составлять от 10 до 15%. Таким образом, регенеративный подогрев воды уменьшает потери тепловой энергии с отработавшим паром в конденсаторе турбоустановки [1].

Система регенеративного подогрева питательной воды тепловой электростанции (ТЭС), как правило, включает не менее 8-10 ступеней подогрева: 3 подогревателя высокого давления (ПВД-6,7,8), деаэратор (Д), 4 подогревателя низкого давления (ПНД-1,2,3,4) и теплообменник пара сальниковых уплотнений, утилизирующего теплоту пара из сальниковых уплотнений турбины на подогрев питательной воды [2,3].

Таким образом, основным технологическим элементом системы регенерации турбины является подогреватель питательной воды. В данной работе в качестве объекта управления рассматривается подогреватель низкого давления ПНД-2 (например, ПН-400-26-7-II) схема которого приведена на рисунке 1.

Несмотря на принятое разделение, что основной конденсат - это поток конденсата рабочего пара от конденсатора до деаэратора, а питательная вода - поток конденсата рабочего пара от деаэратора до котла, в дальнейшем для упрощения изложения оба этих потока будут называться питательной водой.

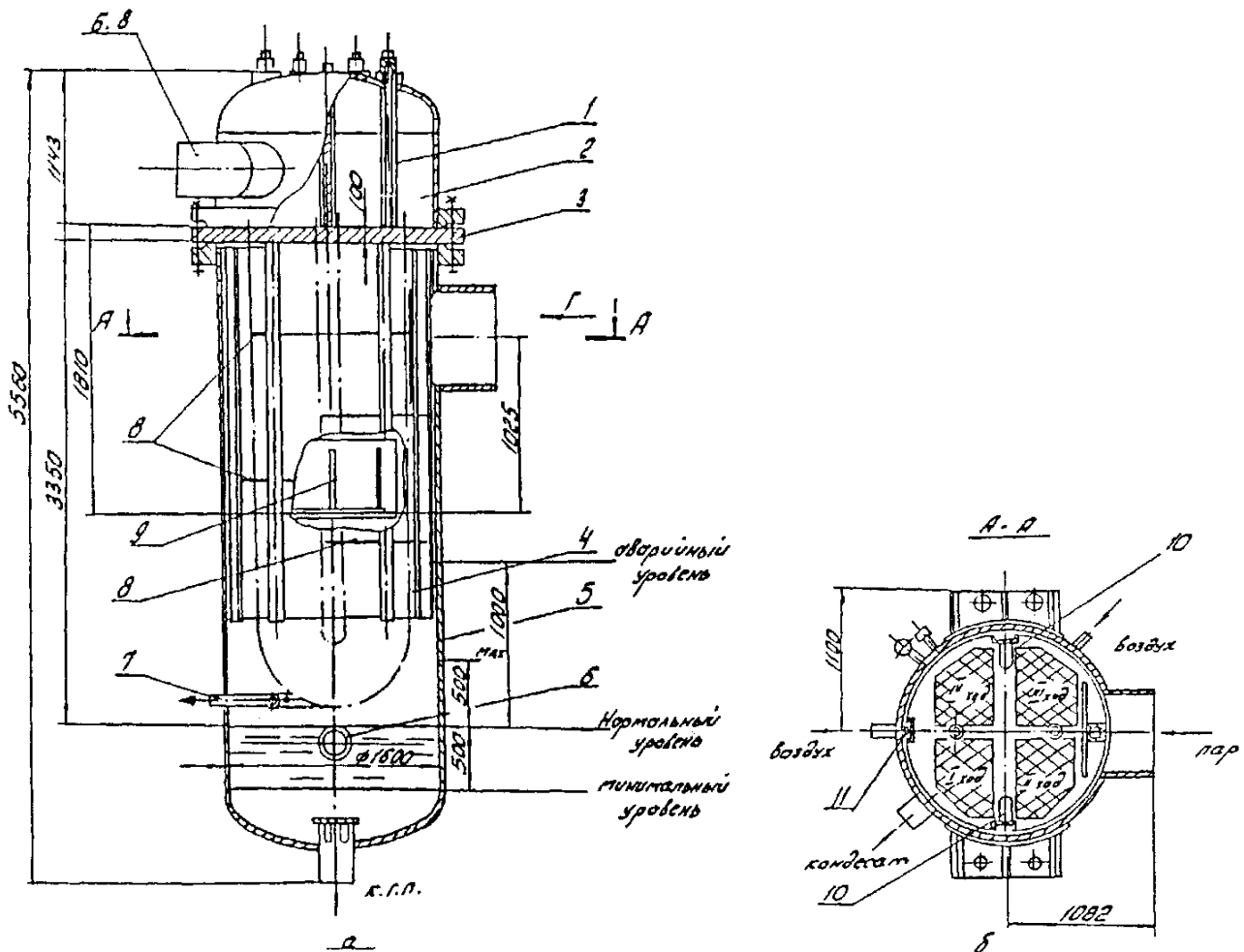
Согласно типовой тепловой схемы турбины ТЭС, в подогреватель низкого давления ПНД-2 подается: питательная вода от предыдущего подогревателя ПНД-1, греющий пар от турбины и внешний конденсат от следующего подогревателя ПНД-3. Из рассматриваемого подогревателя низкого давления ПНД-2 (рис.1) отводится нагретая до заданной температуры питательная вода (направляется в следующий подогреватель ПНД-3) и конденсат, который при помощи сливного насоса СН подается на вход подачи питательной воды следующего подогревателя низкого давления ПНД-3 (рис.1).

Подогреватель низкого давления типа ПН-400-26-7-II (рис.1) состоит из следующих основных узлов: водяной камеры 2, трубной системы 4, корпуса 5. К отсекам водяной камеры приварены патрубки Б, В входа и выхода питательной воды, соответственно.

К цилиндрической части корпуса приварены патрубки входа греющего пара Г, конденсата б, входа и выхода 7 паровоздушной смеси, а к эллиптическому днищу корпуса — патрубков выхода конденсата, который подключается к сливному насосу.

Пар вводится в корпус через патрубок Г, конденсируется на трубах поверхности теплообмена, а некоторая часть его совместно с неконденсирующимися газами (воздухом) выводится через полукольцевую перфорированную трубу 7. Весь конденсат сливается на уровень воды в корпусе, снизу через патрубок в днище выводится из подогревателя. Ввод конденсата греющего пара от подогревателя низкого давления ПНД-3, как правило, осуществляется через перфорированную трубу б в нижнюю часть корпуса под уровень конденсата (рис.1).

Рассмотренные выше особенности подогревателя низкого давления ПНД-2, а также анализ его технических параметров и характеристик позволили сформировать схему его информационных переменных и их взаимодействия, которая приведена на рис.2



1 – трубка; 2 – водяная камера; 3 – трубная доска; 4 – трубная система; 5 – корпус; 6 – вход к.г.п.; 7 – концевая труба воздухоотсасывающего устройства; 8 – направляющая перегородка; 9 – опора трубного пучка; 10 – щиты, закрывающие проход пара мимо трубного пучка; 11 – рамки для заводки трубного пучка в корпус; Г – вход греющего пара; Б, В – вход и выход питательной воды

Рисунок 1 – Подогреватель низкого давления типа ПН-400-26-7-II

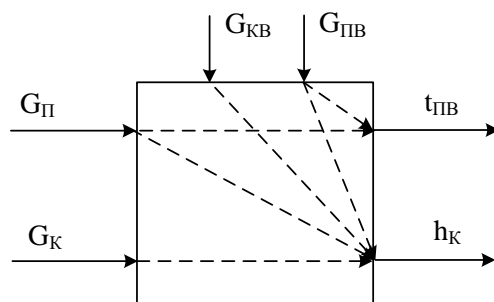


Рисунок 2 – Схема информационных переменных подогревателя низкого давления ТЭС

Основными управляемыми переменными подогревателя низкого давления ПНД-2 ТЭС, которые полностью характеризуют процесс подогрева питательной воды, являются (рис.2):

- температура питательной воды на выходе подогревателя $t_{ПВ}$;
- уровень конденсата в подогревателе $h_К$.

Для достижения, поддержания или необходимого изменения управляемых переменных в разрабатываемой САУ подогревателем низкого давления ТЭС, согласно рис.2, применяются следующие управляющие воздействия:

- расход греющего пара, подаваемого в подогреватель $G_П$;

– расход конденсата, отводимого из подогревателя G_K .

Требуемое изменение перечисленных управляющих воздействий достигается за счет использования исполнительных механизмов с регулирующими органами – управляемых клапанов с электроприводами, которые установлены на соответствующих подающих трубопроводах. Для изменения расхода конденсата, отводимого из подогревателя, может применяться регулирующий клапан или сливной насос.

Основным возмущающим воздействием, которое оказывает существенное влияние на температуру питательной воды на выходе подогревателя $t_{ПВ}$ является расход питательной воды $G_{ПВ}$, который может изменяться, в достаточно широких пределах, в зависимости от текущей нагрузки на турбину. Кроме этого возмущения, на процесс подогрева питательной воды и ее температуру $t_{ПВ}$ оказывают влияние следующие возмущения: температура питательной воды на входе в подогреватель $t_{ПВВ}$; температура греющего пара $t_{П}$. Эти возмущения не оказывают существенного влияния на рассматриваемую управляемую переменную $t_{ПВ}$, так как они изменяются в достаточно узком диапазоне за счет их стабилизации другими САУ.

Основными возмущающими воздействиями, которые оказывают существенное влияние на уровень конденсата в подогревателе h_K являются расход подводимого внешнего конденсата $G_{КВ}$, расход греющего пара, подаваемого в подогреватель $G_{П}$ и расход питательной воды $G_{ПВ}$, которые изменяются в достаточно широких пределах, в зависимости от текущей нагрузки на турбину. Кроме этих возмущений, на уровень конденсата в подогревателе h_K оказывают влияние следующие возмущения: температура питательной воды на входе в подогреватель $t_{ПВВ}$; температура греющего пара $t_{П}$, температура конденсата в подогревателе t_K . Эти возмущения не оказывают существенного влияния на управляемую переменную – уровень конденсата h_K , так как они изменяются в достаточно узком диапазоне.

Таким образом, с учетом проведенного выше анализа, предложена укрупненная структурная схема концепции построения САУ подогревателем низкого давления системы регенерации ТЭС, которая приведена на рисунке 3.

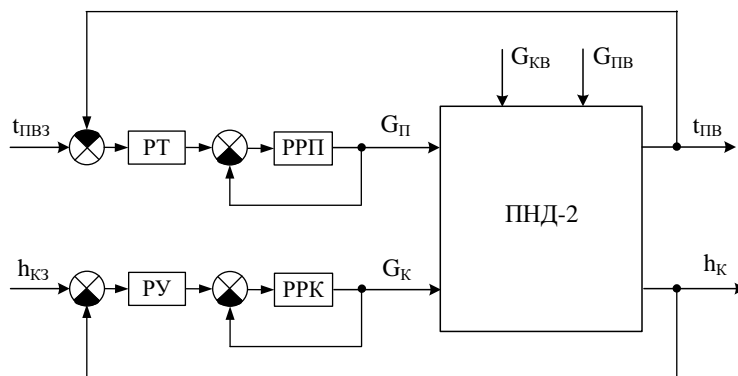


Рисунок 3 – Укрупненная структурная схема концепции построения САУ

К стабильности температуры питательной воды на выходе подогревателя низкого давления ПНД-2 предъявляются достаточно жесткие требования – от этого зависит эффективность дальнейших этапов регенеративного подогрева питательной воды и всей системы регенерации ТЭС в целом. Поэтому САУ температурой питательной воды $t_{ПВ}$ реализована по каскадной двухконтурной схеме стабилизации выходной температуры воды при влиянии основного возмущения – расхода питательной воды $G_{ПВ}$ (рис.3). Внутренний контур управления расходом греющего пара $G_{П}$ (рис.3) необходим для повышения точности процесса управления. Алгоритм управления в САУ температурой питательной воды $t_{ПВ}$ реализуется двумя регуляторами – внешним регулятором температуры питательной воды РТ и внутренним регулятором расхода греющего пара РРП (рис.3).

САУ уровнем конденсата h_K также реализована по каскадной двухконтурной схеме стабилизации уровня конденсата h_K при влиянии основных возмущений – расхода греющего

пара $G_{\text{п}}$, расхода подводимого внешнего конденсата $G_{\text{кв}}$, расхода питательной воды $G_{\text{пв}}$ (рис.3). Внутренний контур управления расходом конденсата $G_{\text{к}}$ (рис.3) необходим для повышения точности и уменьшения инерционности процесса управления. Алгоритм управления в рассматриваемой САУ уровнем конденсата $h_{\text{к}}$ реализуется двумя регуляторами – внешним регулятором уровня конденсата P_U и внутренним регулятором расхода конденсата $РРК$ (рис.3).

Эффективность решения задач автоматического управления и достижения поставленных целей зависит от выбранной структурной схемы САУ. На основе концепции построения (рис.3) предложена структурная схема САУ температурой питательной воды на выходе подогревателя, которая приведена на рис.4.

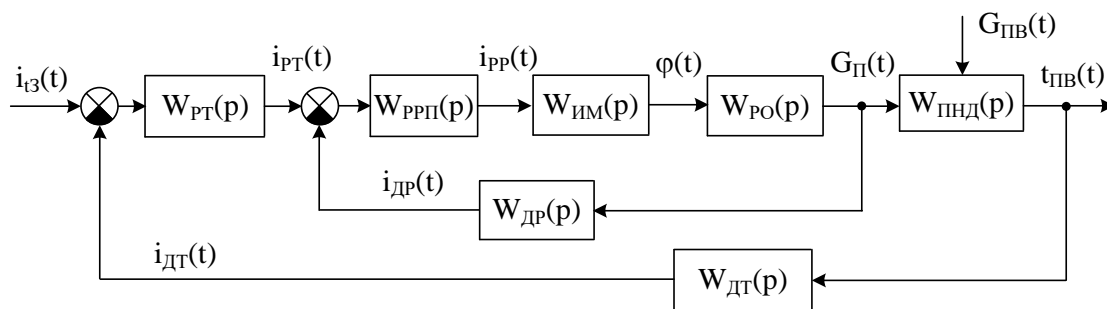


Рисунок 4 – САУ температурой питательной воды на выходе подогревателя

Согласно структурной схеме (рис.4), система автоматического управления температурой питательной воды на выходе подогревателя состоит из следующих элементов: $W_{\text{ПНД}}(p)$ – передаточная функция подогревателя низкого давления; $W_{\text{РО}}(p)$ – передаточная функция регулирующего органа; $W_{\text{ИМ}}(p)$ – передаточная функция исполнительного механизма; $W_{\text{РРП}}(p)$, $W_{\text{РТ}}(p)$ – передаточная функция регулятора расхода греющего пара и регулятора температуры питательной воды; $W_{\text{ДР}}(p)$, $W_{\text{ДТ}}(p)$ – передаточная функция датчика расхода пара и датчика температуры питательной воды на выходе подогревателя.

Для необходимого изменения управляющего воздействия – расхода греющего пара на входе в подогреватель воды $G_{\text{п}}(t)$ в состав САУ входят регулирующий орган $W_{\text{РО}}(p)$ с исполнительным механизмом $W_{\text{ИМ}}(p)$ (рис.4). Контроль текущего состояния основных и дополнительных управляемых переменных осуществляется соответствующими технологическими датчиками, которые образуют цепи обратных связей – главной: $W_{\text{ДТ}}(p)$ – датчик температуры питательной воды и внутренней: $W_{\text{ДР}}(p)$ – датчик расхода греющего пара (рис.4).

Алгоритм управления подогревателем питательной воды реализуется в виде двух регуляторов: $W_{\text{РРП}}(p)$ – внутреннего регулятора расхода пара и $W_{\text{РТ}}(p)$ – внешнего регулятора температуры питательной воды.

Таким образом, в статье предложена, обоснована и разработана концепция системы автоматического управления подогревателем низкого давления системы регенерации турбины ТЭС. На основании выполненного анализа существующих принципов построения систем автоматического регулирования, их особенностей, достоинств и недостатков было принято решение об использовании каскадной структуры САУ, как наиболее подходящей для решения поставленной задачи автоматизации рассматриваемого подогревателя системы регенерации по основным каналам управления.

Перечень ссылок

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я.Соколов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 360 с.
2. Елизаров, Д.П. Теплоэнергетические установки электростанций / Д.П. Елизаров. - М.: Энергоиздат, 1982. -264 с.
3. Назмеев, Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС / Ю.Г. Назмеев, В.М. Лавыгин. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 260с.

ВЫПАРНОЙ АППАРАТ С ВЫНЕСЕННОЙ ГРЕЮЩЕЙ КАМЕРОЙ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Савчук К.В., студент; Федюк Р.В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Выпариванием называется процесс увеличения концентрации растворов нелетучих или малолетучих веществ в жидких летучих растворителях за счет удаления паров растворителя в процессе кипения. Процесс выпаривания используются для увеличения концентрации растворов высококипящих веществ (растворы солей, щелочей, многоатомных спиртов, некоторых минеральных и органических кислот и т.п.). Например, при получении каустической соды, раствор NaOH упаривается для получения концентрации 50–60 %, а в сахарном производстве сахарный раствор – до 65%.. Раствор, поступающий на выпаривание, называется исходным раствором, а удаляемый концентрированный раствор – упаренным [1,2].

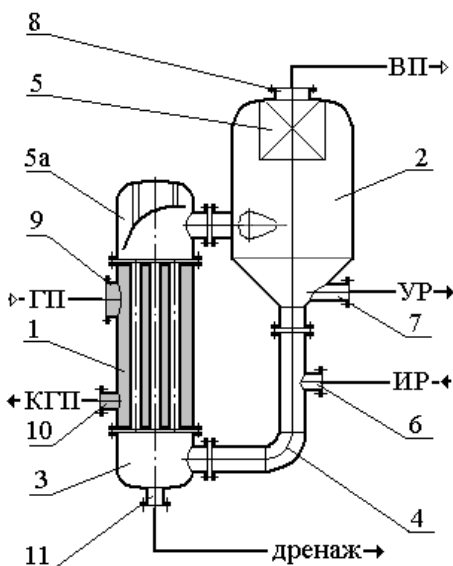
Подвод тепла, необходимого для кипения исходного раствора, может осуществляться различными способами. Однако чаще всего, в качестве греющего агента применяется водяной пар, который называют первичным или греющим. Пар растворителя, образующийся в процессе выпаривания кипящего раствора, называется вторичным. Вторичный пар может применяться в качестве греющего пара в многоступенчатых выпарных установках, или для потребностей, не связанных с выпариванием и тогда он называется экстра-паром [1,2].

Выпарные установки кроме, собственно, выпарных аппаратов включают в свой состав и вспомогательное оборудование – теплообменники, насосы, конденсаторы, регулирующие клапана, задвижки и др. В общем случае, выпарной аппарат состоит из следующих основных технологических элементов: греющей камеры, в которой производится нагрев исходного раствора до необходимой температуры; кипятильной или испарительной камеры, где происходит кипение и испарение растворителя; сепаратора, где осуществляется сепарация (отделение) капель жидкого раствора от образующихся паров; а также устройств и оборудования, обеспечивающих циркуляцию и транспортировку растворов. Части выпарного аппарата могут совмещаться и выполнять несколько функций одновременно. К примеру, нагревание и испарение достаточно часто осуществляются в одной части выпарного аппарата, называемой греющей камерой. Исходный раствор, в большинстве случаев, поступает в аппарат нагретым до температуры кипения. В противном же случае, исходный раствор нагревается в греющей камере до температуры кипения и после этого подается в испарительную камеру, где кипит и испаряется. Образующийся пар растворителя проходит через сепаратор, в котором отделяется от захваченных капель жидкости, и удаляется из выпарного аппарата в виде вторичного пара. Для подачи тепла в греющую камеру выпарного аппарата достаточно часто применяют греющий водяной пар.

В зависимости от давления в выпарном аппарате различают выпаривание при избыточном давлении, при атмосферном давлении и в вакууме [1,2]. Осуществление процесса выпаривания при избыточном давлении позволяет использовать образующийся вторичный пар, так как он при этом обладает высокой температурой и пригоден для применения в другом аппарате в качестве греющего, или экстра-пара. Однако выпаривание при высоком давлении характеризуется повышенной температурой кипения упариваемого раствора, что допустимо только для термически устойчивых веществ. Кроме того, происходит увеличение затрат, связанных с внутренним высоким давлением в выпарном аппарате. Всех перечисленных недостатков, но также и достоинств лишен выпарной аппарат для проведения процесса выпаривания при атмосферном давлении. Вторичный пар при этом в дальнейшем не находит применения и выбрасывается в атмосферу. Создание вакуума в выпарном аппарате приводит к уменьшению температуры осуществления процесса

выпаривания. Это позволяет повысить концентрацию растворов веществ, склонных к термическому разложению, а также применять в качестве греющих агентов низкотемпературных теплоносителей. Но при таком способе проведения процесса несколько увеличивается удельная теплота испарения растворителя, следовательно, возрастает расход требуемого тепла.

На рисунке 1 приведена схема вертикального трубчатого выпарного аппарата с вынесенной греющей камерой, естественной циркуляцией и кипением раствора в зоне нагрева [1,2].



1 – греющая камера; 2 – сепаратор; 3 – нижняя крышка (днище) греющей камеры; 4 – циркуляционная труба; 5 – каплеуловитель; 5а – верхняя крышка греющей камеры; 6 – штуцер входа исходного раствора; 7 – штуцер выхода упаренного раствора; 8 – штуцер выхода вторичного пара; 9 – штуцер входа греющего пара; 10 – штуцер выхода конденсата греющего пара; 11 – штуцер опорожнения аппарата; ИР – исходный раствор; УР – упаренный раствор; ВП – вторичный пар; ГП – греющий пар; КП – конденсат греющего пара

Рисунок 1 – Трубчатый выпарной аппарат с вынесенной греющей камерой

При работе выпарного аппарата с вынесенной греющей камерой (рис. 1.1) исходный раствор подается в него через штуцер 6, врезанный в необогреваемую циркуляционную трубу 4. При этом исходный раствор заполняет трубное пространство аппарата, в том числе и кипяточные трубки греющей камеры 1. В межтрубное пространство греющей камеры 1 через штуцер 9 подается греющий пар, который в процессе теплообмена с исходным раствором конденсируется. Конденсат греющего пара отводится из аппарата через штуцер 10. Раствор в кипяточных трубках греющей камеры нагревается и кипит. Образующаяся при этом парожидкостная эмульсия выбрасывается в сепаратор 2, в котором, за счет гравитационных сил происходит ее разделение на отдельные фазы – вторичный пар и упаренный раствор. Часть упаренного раствора из нижней части сепаратора поступает в циркуляционную трубу 4, а часть – в качестве упаренного продукта отводится через штуцер 7. Вторичный пар походит через каплеуловитель 5, в котором осуществляется очистка от капель уносимого раствора, и покидает выпарной аппарат через штуцер 8.

Выполненный выше анализ особенностей выпарного аппарата с вынесенной греющей камерой для выпаривания раствора кальциевой селитры $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ позволил осуществить процесс его формализации, в результате которого получена схема материальных потоков (рис.2) и информационных переменных (рис.3) для данного объекта управления – рассматриваемого типа выпарного аппарата.

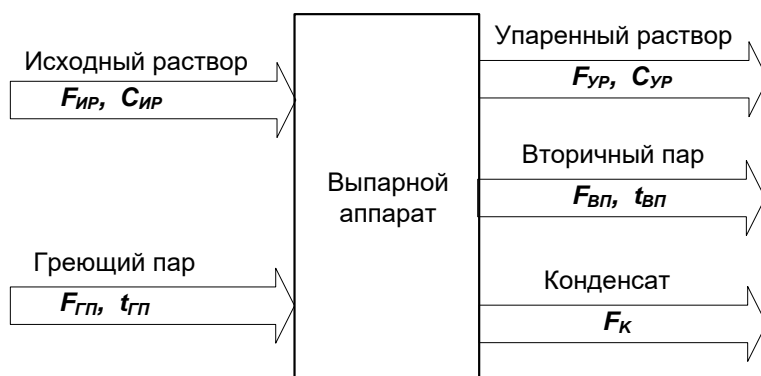


Рисунок 2 – Схема материальных потоков выпарного аппарата

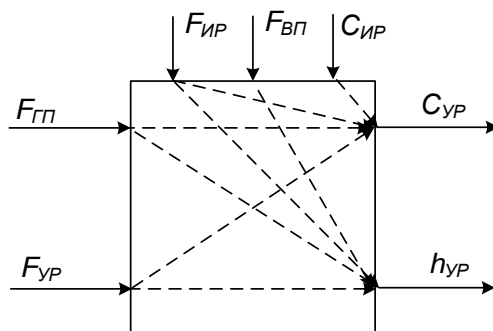


Рисунок 3 – Схема информационных переменных выпарного аппарата

Основными управляемыми переменными, которые определяют эффективность процесса выпаривания раствора кальциевой селитры $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ в выпарном аппарате с вынесенной греющей камерой, являются (рис.3):

- концентрация упаренного раствора на выходе выпарного аппарата, $C_{УР}$;
- уровень упаренного раствора в сепараторе выпарного агрегата, $h_{УР}$.

Необходимое изменение (поддержание) управляемых переменных – $C_{УР}$ и $h_{УР}$ в разрабатываемой системе автоматического управления осуществляется за счет использования следующих управляющих воздействий (рис.3):

- расход греющего пара $F_{ГП}$ – воздействует на концентрацию упаренного раствора $C_{УР}$;
- расход упаренного раствора $F_{УР}$ – воздействует на уровень упаренного раствора в сепараторе $h_{УР}$.

На рассматриваемый объект управления – выпарной аппарат с вынесенной греющей камерой оказывают влияние следующие основные возмущающие воздействия:

- расход исходного раствора $F_{ИР}$ – оказывает влияние на обе управляемые переменные – $C_{УР}$ и $h_{УР}$;
- расход вторичного пара $F_{ВП}$ – оказывает влияние на уровень упаренного раствора в сепараторе выпарного агрегата, $h_{УР}$;
- концентрация исходного раствора на входе в выпарной аппарат, $C_{ИР}$ – оказывает влияние на концентрацию упаренного раствора на выходе выпарного аппарата, $C_{УР}$.

В статье выполнен анализ выпарного аппарата с вынесенной греющей камерой как объекта автоматизации. На основании проведенного анализа осуществлена формализация объекта управления – рассматриваемого выпарного аппарата с вынесенной греющей камерой, определены управляемые переменные, а также управляющие и возмущающие воздействия.

Перечень ссылок

1. Таубман Е.И. Выпаривание. М.: Химия, 1982 г. – 328 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии Учебник для вузов - 10-е изд., стереотипное, доработанное. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

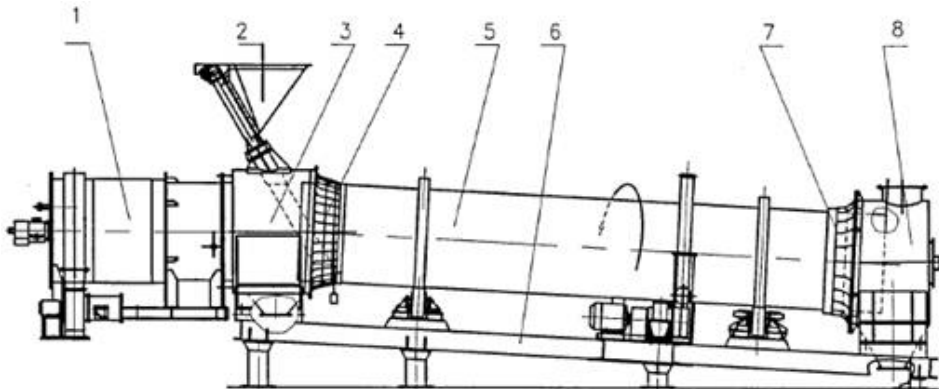
ОСОБЕННОСТИ БАРАБАННОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСА ПОДАЧИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ТЭС КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Садовниченко И.И., студент; Федюн Р.В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Сушка является зачастую заключительным этапом производства и характеризуется значительной энергоемкостью. В современных условиях возрастающего потребления энергии, с одной стороны, и дефицита энергетических ресурсов с другой, все более остро ставятся вопросы энергосбережения. Несмотря на сформировавшиеся принципы энергосбережения в технологии сушки, нет однозначного решения их реализации, поэтому проблема экономии энергии при использовании различных типов сушильных установок является актуальной.

Барабанная сушильная установка (рис.1) состоит из следующих элементов: теплогенератора (или топки), загрузочной камеры, сушильного барабана и выгрузочной камеры. Исходный влажный материал проходит последовательно через эти элементы сушильной установки и по мере продвижения к выгрузочной камере 8 нагревается и из него испаряется влага. Теплоноситель, в роли которого выступает газоздушная смесь, получаемая в теплогенераторе 1, движется к выгрузочной камере 8 под воздействием разряжения. Разряжение создается вытяжным вентилятором или дымососом, который не показан на рисунке 1 и обязательно устанавливается после выгрузочной камеры. В рассматриваемой сушильной установке процесс сушки осуществляется по методу прямотока, т.е. и материал и теплоноситель двигаются в одном направлении [1,2].



1 – теплогенератор; 2 – питатель; 3 – загрузочная камера; 4 – уплотнение «горячего» конца барабана; 5 – сушильный барабан; 6 – рама сушильного агрегата; 7 – уплотнение «холодного» конца барабана; 8 – выгрузочная камера;

Рисунок 1 – Технологическая схема барабанной сушильной установки

Исходный влажный материал – угольный шлам загружается в сушильный барабан 5 через питатель 2 и загрузочную трубу, которые установлены на загрузочной камере 3. Сушильный барабан 5 устанавливается с наклоном под углом 3° – 6° к горизонту и вращается вокруг продольной оси со скоростью 2...8 об/мин.

Угольный шлам, поступивший в сушильный барабан, постоянно перемещается вдоль оси барабана, при этом перемешивается, находясь в постоянном контакте с теплоносителем. По мере продвижения к выгрузочной камере 8, материал высушивается. Влага из угольного шлама уносится теплоносителем, который подается в циклон (на рисунке 1.2 не показан) для очистки от пылевидной фракции материала, увлеченной теплоносителем.

Управление количеством угольного шлама, подаваемого в сушильный барабан осуществляется за счет соответствующего изменения производительности питателя 2.

Режимы сушки подбираются при пуско-наладочных работах. При изменении влажности материала на входе или интенсивности поступления материала в барабан, режим сушки может регулироваться количеством газовой смеси, поступающей в сушильный барабан, или изменением его температуры, или изменением скорости вращения барабана.

В зависимости от начальной влажности и количества (расхода) угольного шлама, подаваемого на сушку, будет меняться и количество теплоносителя – газовой смеси, подаваемой в сушильный барабан. Поэтому, для стабильной и устойчивой работы сушильного оборудования, в частности, поддержания требуемой скорости теплоносителя – газовой смеси необходимо поддерживать требуемое разрежение в топке (теплогенераторе) за счет изменения расхода дымовых газов.

Загрузочная камера предназначена для подачи материала в сушильный барабан, установки уплотнителя, подачи горячей газовой смеси в сушильный барабан и возможности удаления пыли, осевшей в камере.

Выгрузочная камера предназначена для выгрузки высушенного материала из сушильного барабана, установки уплотнителя, отвода влажной газовой смеси из барабана.

Работа теплогенератора основана на смешивании наружного воздуха с продуктами горения для получения нужного объема газовой смеси с требуемой температурой и подачи его в сушильный барабан.

Горелка должна быть закреплена на торце теплогенератора в соответствии с требованиями документации на горелку. Горение происходит в камере сгорания.

Тепловая мощность горелки может регулироваться за счет изменения подаваемого количества мазута и соответствующего изменения расхода первичного воздуха. Наружный воздух для смешивания подается от вентилятора через улитку в камеру смешения корпуса, где и происходит смешивание топочных газов с воздухом, подаваемым вентилятором.

Работа сушильного барабана заключается в перемещении высушиваемого материала вдоль корпуса барабана при постоянном его перемешивании. Исходный влажный материал – угольный шлам подается в сушильный барабан через загрузочную трубу и попадает на спиральные насадки. При вращении корпуса барабана, материал перемещается по спиральным насадкам и попадает на лопастные насадки. Лопастные насадки поднимают материал в верхнюю часть окружности корпуса барабана. С определенной высоты, высушиваемый материал начинает свободно сыпаться с лопастных насадок в нижнюю часть барабана. Корпус барабана установлен с наклоном около 3°- 6° к продольной оси, поэтому материал при захвате и сыпании с лопастных насадок, постепенно перемещается также и вдоль длины барабана. При этом происходит и измельчение комков материала (при падении материала с лопастных насадок) и высушивание его. После лопастных насадок, материал попадает в секторные насадки, где и происходит окончательная сушка материала до требуемой влажности. Высушенный материал из корпуса барабана выгружается в выгрузочную камеру. Сушка материала происходит под воздействием температуры газовой смеси, которая подается из теплогенератора вдоль оси сушильного барабана по направлению движения материала (сушка прямотоком).

Рассматриваемый в барабанной сушильной установке технологический процесс, представлен пятью взаимосвязанными объектами. Непрерывно в барабанную сушилку из смесительной камеры подается сушильный материал (угольный шлам) с начальной относительной влажностью 25%, в количестве 220 т/ч. Одновременно в теплогенераторе сушильного барабана происходит сжигание смеси топлива (мазута) и первичного воздуха со средней температурой горения 1000°C (950 – 1050°C). Влажный материал, проходя через сушильный барабан со средней температурой в нем 400°C, высушивается до влажности 8-10%. Отходящие газы из сушильного барабана поступают по дымоходам в пылеулавливатель, где они очищаются от пыли. Температура газовой смеси на

выходе из сушильного барабана находится в интервале 130 – 150°C. Расход мазута в топку составляет 11 т/ч при расходе первичного воздуха 132000 м³/ч.

Для формализации рассматриваемого объекта управления выполнен анализ установившегося процесса сушки угольного шлама, когда известны температура влажного шлама, температура теплоносителя, влагосодержание материала и нагрузка по влажному материалу. При изменении хотя бы одного из вышеперечисленных параметров произойдет дисбаланс прихода и расхода тепла и одновременное изменение температуры в барабанной сушильной установке и дымовых газов. Если увеличить количество (расход) загружаемого влажного шлама, или увеличить его влажность (или же изменить оба параметра), то вследствие этого увеличится расходная составляющая баланса при постоянном приходе тепла, что приведет к снижению температуры в барабане сушильной установки, и соответственно, увеличение влажности сухого шлама. И наоборот. При повышении температуры теплоносителя при прежней загрузке температура в барабане будет увеличиваться, а влажность шлама – уменьшаться [3].

Для эффективного и полного сжигания топлива в топке необходимо поддерживать оптимальное соотношение между расходом мазута и расходом воздуха, что обеспечивается за счет изменения расхода первичного воздуха, подаваемого в топку. Так как теплотворная способность мазута изменяется, то целесообразно поддерживать это соотношение по содержанию кислорода в топочных газах.

Таким образом, рассмотренные выше особенности технологии сушки влажного угольного шлама и анализ ее технической реализации в рассматриваемой барабанной сушильной установке позволили сформировать схему материальных потоков (рис.2) барабанной сушильной установки и их информационных переменных (рис.3).

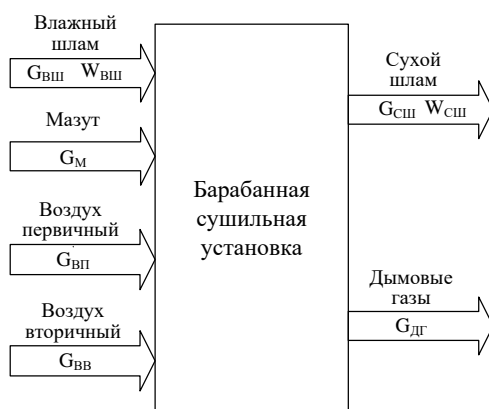


Рисунок 2 – Схема материальных потоков барабанной сушильной установки

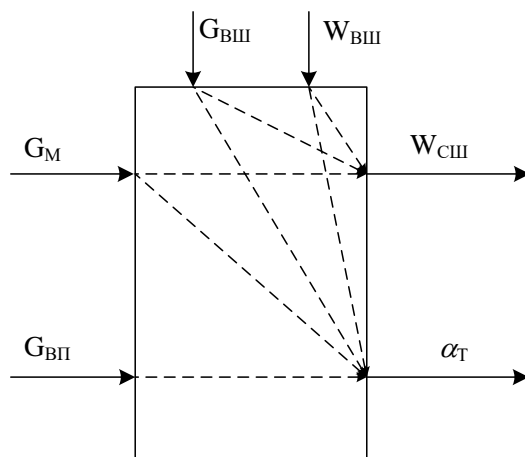


Рисунок 3 – Информационные переменные барабанной сушильной установки

Основное назначение любой сушильной установки, в том числе барабанной конвективного типа – получение на выходе сухого материала (сухого шлама) с требуемой влажностью ($W_{СШ}$) и с необходимой производительностью ($G_{СШ}$) (рис.3). Для осуществления этого барабанная сушильная установка характеризуется следующими материальными потоками (рис.3):

- входные материальные потоки: исходный влажный продукт – влажный угольный шлам ($G_{ВШ}$, $W_{ВШ}$); топливо – мазут (G_M); воздух первичный ($G_{ВП}$); воздух вторичный ($G_{ВВ}$);
- выходные материальные потоки: сухой продукт – сухой угольный шлам ($G_{СШ}$, $W_{СШ}$); дымовые газы ($G_{ДГ}$).

Основными управляемыми переменными, которые максимально характеризуют и определяют эффективность процесса сушки в барабанной сушильной установке, являются (рис.3):

- влажность сухого угольного шлама $W_{СШ}$;
- коэффициент избытка кислорода в дымовых газах α_T .

Для целенаправленного воздействия на указанные управляемые переменные в разрабатываемой САУ барабанной сушильной установкой, применяются следующие управляющие воздействия (рис.3):

- расход топлива – расход мазута G_M ;
- расход воздуха первичного $G_{ВП}$.

Основными возмущающими воздействиями, которые оказывают влияние на приведенные выше управляемые переменные, являются (рис.3) расход $G_{ВШ}$ и исходная влажность $W_{ВШ}$ угольного шлама, подаваемого в сушильную установку. Изменение расхода исходного материала – влажного угольного шлама $G_{ВШ}$ оказывает влияние на все управляемые переменные. Кроме того, для коэффициента избытка кислорода в дымовых газах α_T дополнительным возмущением можно считать расход мазута G_M (рис.3).

Управление влажностью высушенного материала возможно следующими способами:

- изменением скорости вращения сушильного барабана;
- изменением температуры топочных газов (теплоносителя), поступающих в сушильный барабан. Температурой теплоносителя, в свою очередь, можно управлять за счет изменения расхода мазута, подаваемого в теплогенератор или за счет изменения расхода вторичного воздуха, подаваемого в камеру смешивания после теплогенератора;
- изменением скорости движения топочных газов в сушильном барабане. Это возможно в свою очередь с помощью изменения разрежения в топке, то есть расхода уходящих газов.

Управление влажностью изменением скорости вращения сушильного барабана нецелесообразно вследствие большой длины барабана и возможного увеличения нагрузки на электропривод сушильного барабана.

Управление влажностью изменением скорости движения топочных газов также неэффективно, так как, например, при уменьшении скорости движения увеличивается отложение материала на стенках дымовой трубы и ухудшается процесс управления разрежением в верхней части топки.

Таким образом, наиболее целесообразным и эффективным является управление влажностью сухого шлама за счет изменения температуры топочных газов (температуры теплоносителя), поступающих в сушильный барабан, за счет изменения расхода мазута. Этот способ управления следует реализовать по каскадной схеме: внутренний стабилизирующий контур – САУ температурой газов в теплогенераторе (температурой теплоносителя); внешний задающий контур – САУ влажностью сухого угольного шлама.

Выполненный выше анализ особенностей процесса сушки угольного шлама в барабанной сушильной установке как объекта автоматического управления, позволили формализовать концепцию построения системы автоматического управления основными параметрами барабанной сушильной установки в виде обобщенной схемы, которая приведена на рис.4.

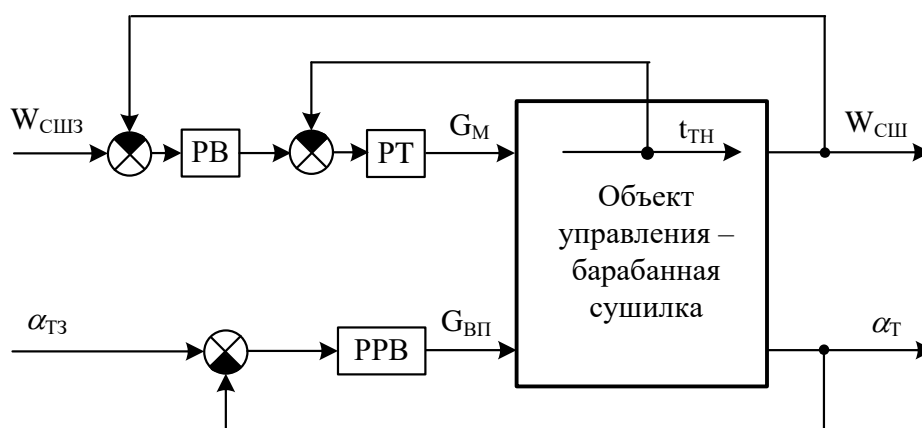


Рисунок 4 – Обобщенная схема концепции построения САУ барабанной сушильной установкой

САУ влажностью сухого шлама представляет собой двухконтурную стабилизирующую систему автоматического управления, задающим воздействием для которой является требуемая влажность сухого шлама на выходе барабанной сушильной установки $W_{СШ}$ (рис.4). Внутренний контур управления температурой теплоносителя (топочных газов) необходим для снижения инерционности и повышения точности процесса управления влажностью шлама. Алгоритм управления в рассматриваемой двухконтурной САУ влажностью шлама реализуется двумя регуляторами – внутренним регулятором температуры теплоносителя РТ и внешним регулятором влажности шлама РВ (рис.4).

САУ концентрацией кислорода в дымовых газах обеспечивает эффективное сжигание топлива (мазута) за счет соответствующего изменения расхода первичного воздуха и представляет собой стабилизирующую систему автоматического управления расходом первичного воздуха, алгоритм функционирования которой реализуется регулятором расхода воздуха РРВ (рис.4).

Использование предложенной концепции построения системы автоматического управления основными параметрами барабанной сушильной установкой позволит снизить потребление электроэнергии и топлива (мазута) при обеспечении необходимого качества процесса сушки угольного шлама.

Таким образом, в статье осуществлен выбор и обоснование концепции построения системы автоматического управления барабанной сушильной установкой, применяемой для сушки угольного шлама на тепловой электростанции. Показано, что наиболее подходящей для реализации САУ влажностью угольного шлама является концепция, основанная на управлении влажностью шлама на выходе сушильной установки за счет изменения температуры теплоносителя. Для достижения необходимого качества управления предложена двухконтурная структура САУ влажностью, с внутренним контуром управления температурой теплоносителя и внешним контуром управления влажностью шлама.

Полученная в данном разделе структурная схема концепции построения САУ позволяет выполнить синтез необходимых алгоритмов управления и осуществить техническую реализацию разрабатываемой системы автоматического управления барабанной сушильной установкой.

Перечень ссылок

1. Рашковская, Н.Б. Сушка в химической промышленности. / Н.Б.Рашковская – М.: Химия, 1977. – 80 с.
2. Портнов, В.В. Сушильные установки. Учебное пособие. / В.В. Портнов – Воронеж: Издательство ВГТУ, 2012 г. – 109 с.
3. Муштаев, В.И. Сушка дисперсных материалов. / В.И. Муштаев, В.М. Ульянов – М.: Химия, 1988. – 352 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОГРЕЙНОГО УГОЛЬНОГО КОТЛА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Скопюк К.В., студент; Попов В.А., доц., к.т.н., доц.; Федюн Р.В., доц., к.т.н., доц.
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В настоящее время в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве эксплуатируется большое количество котлов, которые морально и физически устарели, что приводит к значительным потерям энергии при подогреве воды. В связи с этим вопросы повышения технического уровня промышленных и бытовых котельных, в частности, их экономичности и надежности, имеют большое значение. Основная задача водогрейного котла – бесперебойное обеспечение бытовых и промышленных объектов горячей водой с требуемыми параметрами. Следовательно, отказ водогрейного котла приводит к простоям всего комплекса отопления или, как минимум, его большей части, а это существенные убытки. Уменьшение затрат на обслуживание и увеличение межремонтного интервала, а также упрощение и ускорение диагностики при повышении экономичности и надежности функционирования водогрейного котла, позволяет говорить о значительном экономическом эффекте от применения предложенной системы автоматического управления для парового котла, работающего в водогрейном режиме на твердом топливе.

Рассматриваемый котел типа ДКВР – двухбарабанный, водотрубный, реконструированный, с естественной циркуляцией [1,2]. Паровой котел ДКВР-10/13 предназначен для получения насыщенного или перегретого водяного пара при давлении до 13 кгс/см^2 (1,3 МПа). Котел используется с различными колосниковыми решетками для слоевого сжигания обычных твердых топлив, а с камерными топками – для сжигания газообразных и жидких топлив. При необходимости, котлы ДКВР могут быть использованы как водогрейные [3]. Такая необходимость возникает в том случае, если котёл будет использоваться только для получения горячей воды и использования её в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения объектов бытового и промышленного назначения. Именно такой котел и является объектом исследования – паровой котел ДКВР-10/13, работающий в водогрейном режиме на угольном топливе.

Обобщенная технологическая схема котла ДКВР-10/13, работающего в водогрейном режиме на твердом топливе – угле, приведена на рис.1.

Сжигание твердого топлива, подаваемого с помощью пневмомеханического забрасывателя, осуществляется на колосниковой решетке в топке. Необходимое для горения количество воздуха подается в топку дутьевым вентилятором (рис.1) Тепло, выделяемое в процессе сжигания топлива, отдается в топочную камеру. В результате процесса горения образуются газообразные продукты – дымовые газы, которые удаляются из топки под действием разряжения, создаваемого дымососом (рис.1.). Сжигание осуществляется факельным способом.

Воздух в топку должен подаваться дутьевым вентилятором в таком количестве, чтобы обеспечить полное сжигание угольного топлива, при этом выделяется углекислый газ CO_2 и пары воды H_2O . Если воздуха недостаточно, то кроме неполноты сжигания, т.е. экономических потерь будет загрязнение атмосферы так как при этом выделяются сажа и угарный газ CO , что недопустимо исходя из существующих технологических требований (отложение сажи на элементах топки приводит к ухудшению теплопередачи, и как следствие, к повышению расхода топлива) и экологических норм.

Для обеспечения постоянного расхода сетевой воды через котел применяется линия перепуска, состоящая из трубопровода и регулируемой задвижки, которые соединяют вход и выход котла (рис.1). Для восполнения потерь сетевой воды применяется подпиточный насос (рис.1).

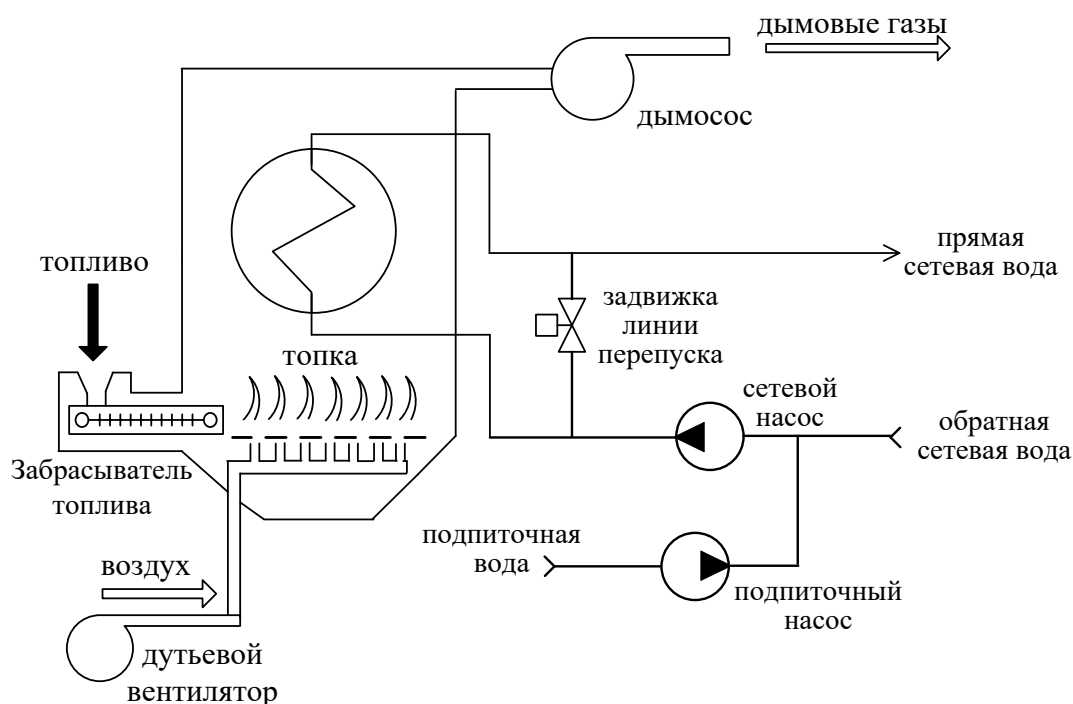


Рисунок 1 – Обобщенная технологическая схема котла ДКВР-10/13, работающего в водогрейном режиме на угольном топливе

Подача требуемого расхода воздуха в топку котла для обеспечения качественного сжигания топлива осуществляется дутьевым вентилятором ВД-10, который предназначен для подачи воздуха в топку паровых и водогрейных котлов малой и средней мощности.

Для непрерывной подачи топлива – каменного угля в топку котла применяется пневмомеханический забрасыватель топлива ЗП-400, который предназначен для требуемого изменения расхода и равномерной подачи угля в механических и полумеханических топках типа ТЛЗМ, ТЧЗМ, ЗП-РПК, ПТЛ-РПК. Пневмомеханический забрасыватель состоит из пластинчатого питателя, забрасывающего механизма ротационного типа и каскадно-лоткового угольного ящика. Ротор забрасывателя приводится во вращение от асинхронного электродвигателя через клиноременную передачу. От вала ротора забрасывателя через двухступенчатый редуктор и храповый механизм приводится в движение пластинчатый питатель. Подача топлива в топку регулируется за счет изменения скорости движения пластинчатой цепи.

Водогрейные котлы, как следует из приведенного выше анализа работы парового котла ДКВР в водогрейном режиме, отличаются от паровых котлов наличием водяного контура вместо водо-парового [1,2]. Это не требует ряда локальных систем регулирования – уровня воды в барабане, давления пара на выходе из барабана, температуры пара через пароохладители, продувки котла. С другой стороны появляются новые контуры регулирования в водяном тракте [4,5].

На основании выполненного выше анализа особенностей устройства и процесса функционирования котла ДКВР-10/13, работающего в водогрейном режиме на угольном топливе получена схема его материальных потоков, которая приведена на рис.2.

Согласно рис.2, входные материальные потоки – топливо (уголь), воздух и обратная сетевая вода, взаимодействуя между собой в котле, превращаются в его выходные материальные потоки – прямая сетевая вода, дымовые газы и золошлаковые отходы.

Основным показателем эффективности функционирования водогрейного котла является температура прямой сетевой воды. На нее оказывают влияние следующие переменные: расход сетевой воды через котел; расход топлива; расход воздуха; разрежение в топке; температура обратной сетевой воды.

Выполнить стабилизацию всех переменных, оказывающих влияние на температуру прямой сетевой воды нельзя, так как расход топлива, расход воздуха и разряжение взаимосвязаны. Устранение влияния изменяющегося расхода сетевой воды осуществляется при помощи контура перепуска сетевой воды, за счет изменения расхода воды через задвижку в линии перепуска.



Рисунок 2 – Схема материальных потоков котла ДКВР-10/13, работающего в водогрейном режиме на угольном топливе

Требуемое значение температуры прямой сетевой воды зависит от времени года и температуры наружного воздуха. Анализируя влияние на температуру рассматриваемых переменных, можно прийти к выводу, что наиболее целесообразным будет использование в качестве регулирующих воздействий изменение расхода топлива и изменение расхода воздуха, подаваемых в топку.

Воздух в топку должен подаваться в таком количестве, чтобы обеспечить полное и эффективное сжигание топлива. Если воздуха подается недостаточное количество, то кроме неполноты сжигания, экономических потерь будут и экологические последствия – загрязнение атмосферы. Если воздуха будет избыток, то произойдет унос тепла в трубу. Таким образом, необходимо изменять подачу воздуха в топку в зависимости от текущего расхода топлива.

На основании полученной схемы материальных потоков (рис.2), а также с учетом особенностей и технических характеристик, разработана схема котла ДКВР-10/13, работающего в водогрейном режиме на угольном топливе, как объекта управления, которая приведена на рис.3.

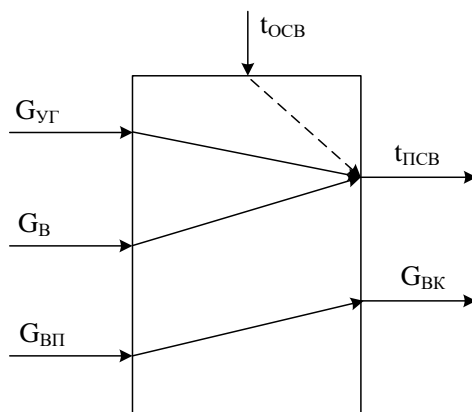


Рисунок 3 – Водогрейный угольный котел ДКВР-10/13 как объект управления

Основными управляемыми переменными, наиболее полно характеризующими процесс функционирования котла ДКВР-10/13, работающего в водогрейном режиме на угольном топливе являются температура прямой сетевой воды на выходе котла $t_{псв}$ и расход сетевой воды через котел $G_{вк}$ (рис.3).

Управляющие воздействия: расход угольного топлива $G_{уг}$ и расход воздуха $G_{в}$ – при управлении температурой прямой сетевой воды $t_{псв}$; расход воды на перепуск $G_{вп}$ – при управлении расходом воды через котел $G_{вк}$.

Основным возмущающим воздействием для рассматриваемого объекта управления является температура обратной сетевой воды на входе в котел $t_{осв}$ (рис.3).

Для реализации требуемых функций контроля и управления в САУ водогрейным угольным котлом с учетом рассмотренных его особенностей, необходим следующий набор технологических датчиков: датчик температуры прямой сетевой воды, датчик расхода воздуха, датчик расхода обратной сетевой воды на входе в котел.

Поддержание требуемой температуры прямой сетевой воды на выходе из котла осуществляется за счет изменения количества подаваемого в топку угля при одновременном пропорциональном изменении расхода подаваемого воздуха.

Расход подаваемого в топку угля изменяется при помощи регулирования производительности пневмомеханического забрасывателя ЗП-400. Как следует из технических характеристик пневмомеханического забрасывателя ЗП-400, в качестве приводного электродвигателя применяется трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, наиболее эффективным способом изменения частоты его вращения является изменение частоты питающего напряжения при использовании преобразователей частоты.

Количество подаваемого в топку воздуха регулируется за счет изменения производительности дутьевого вентилятора путем изменения частоты вращения его приводного электродвигателя.

Для поддержания постоянного расхода сетевой воды через котел используется линия перепуска, представляющая собой трубопровод с задвижкой и соединяющая вход и выход котла. За счет изменения количества воды через линию перепуска осуществляется поддержание постоянного расхода сетевой воды через котел. Для изменения расхода сетевой воды применяется задвижка с исполнительным механизмом – управляемым электроприводом.

Таким образом, с учетом изложенного выше обоснования, предложена схема концепции построения САУ водогрейным угольным котлом, которая приведена на рисунке 4.

К стабильности поддержания заданной температуры прямой сетевой воды на выходе водогрейного котла предъявляются достаточно жесткие требования [4,5] – это определяет эффективность функционирования котла и использования тепловой энергии его потребителями. Поэтому САУ температурой прямой сетевой воды $t_{псв}$ реализована по многоконтурной схеме (рис.4).

Датчик температуры ДТ осуществляет непрерывный контроль температуры прямой сетевой воды и передает информацию о ней в регулятор температуры РТ. Регулятор температуры сравнивает ее с заданным значением температуры $t_{псвзад}$, рассчитывает и выдает управляющее воздействие на пневмомеханический забрасыватель топлива для соответствующего изменения расхода угольного топлива, подаваемого в топку (рис.4). Одновременно с этим, регулятор температуры формирует задающее воздействие для внутреннего контура управления расходом воздуха. Внутренний контур управления расходом воздуха состоит из датчика расхода воздуха ДРВ, регулятора расхода воздуха РРВ и дутьевого вентилятора в качестве регулирующего органа. Внутренний контур управления расходом воздуха $G_{в}$ необходим для повышения точности и качества процесса управления. Алгоритм управления в САУ температурой прямой сетевой воды реализуется двумя

регуляторами – внешним регулятором температуры РТ и внутренним регулятором расхода воздуха РРВ (рис.4).

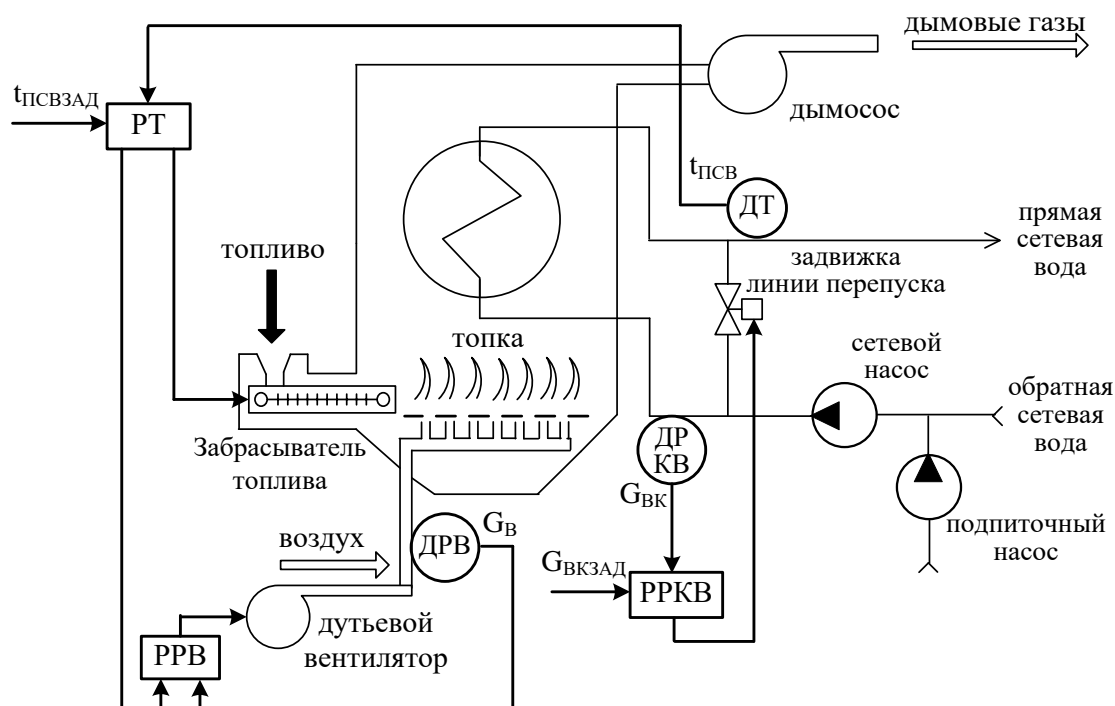


Рисунок 4 – Схема концепции построения САУ водогрейным угольным котлом

САУ расходом воды через котел реализована по принципу обратной связи, с использованием одноконтурной структуры и состоит из следующих элементов: датчика расхода котловой воды ДРКВ, регулятора расхода котловой воды РРКВ и задвижки линии перепуска в качестве регулирующего органа (рис.4). Алгоритм управления в САУ расходом воды через котел реализуется регулятором расхода котловой воды РРКВ (рис.4).

В данном разделе работы предложена, обоснована и разработана концепция системы автоматического управления котлом ДКВР-10/13, работающим в водогрейном режиме на угольном топливе. На основании выполненного анализа существующих принципов построения систем автоматического управления и их особенностей, было принято решение об использовании многоконтурной структуры при реализации САУ температурой прямой сетевой воды на выходе котла и одноконтурной структуры при реализации САУ расходом сетевой воды через котел, как наиболее подходящих для решения поставленной задачи автоматизации рассматриваемого объекта. Внедрение предложенной концепции позволит повысить надежность и снизить эксплуатационные затраты на функционирование котла ДКВР-10/13, работающего в водогрейном режиме на угольном топливе.

Перечень ссылок

1. Зыков, А.К. Паровые и водогрейные котлы. / А.К. Зыков. – М.: Энергоатомиздат, 1987 г. – 129 с.
2. Галдин В.Д. Паровые и водогрейные котлы: учебное пособие / В.Д. Галдин. – Омск: СибАДИ, 2011. – 47 с.
3. Глущенко Л.Ф., Щевцов Д.С., Кунцевич Б.Ф. Перевод промышленно-отопительных котлов в водогрейный режим. – Киев: Будевильник, 1982.-56с.
4. Клюев А.С., Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов, М., «Энергия», 1970г. – 280 с.
5. Рыбалев, А.Н. Автоматическое управление энергетическими установками: лекционный курс. / А.Н. Рыбалев. – Благовещенск: Амурский гос. универ., 2007. – 94 с.

ДИАГНОСТИКА АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ШАХТЕ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Филинов Н. Ю. студент; **Суков С. Ф.**, профессор, к.т.н.
(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Одной из важнейших составляющих топливно-энергетического комплекса многих стран СНГ остаётся угольная промышленность. Однако, угледобывающие предприятия являются аварийно опасными. В угольной шахте могут произойти различные чрезвычайные ситуации: взрыв газа и угольной пыли, пожар, авария на поверхности, резкое повышение концентрации газов, механические и электрические аварии, а также другие опасности и риски. Авария в угольной шахте является динамической, стохастической и нечеткой, которая связана с различными опасностями во времени и пространстве. Поэтому на безопасность рабочих процессов влияют геологическое состояние, горный контроль, человеко-машинная среда и другие факторы.

Одними из характерных методов анализа безопасности рабочих процессов являются анализ контрольного списка безопасности, анализ дерева отказов и метод байесовской сети. Анализ дерева отказов может эффективно работать с показателями безопасности CMPS. Однако из-за строгого допущения, не может обрабатывать связанные проблемы между различными узлами и приводит к сложным вычислениям, что ограничивает его применение. Байесовский сетевой метод зависит от взаимосвязи локальных условий для выполнения двусторонних неопределенных рассуждений, которые могут применяться к прогнозированию, классификации, причинному анализу и диагностическому анализу. Но для использования данного метода необходимо знать вероятность распределения выборов, которая на самом деле не может быть дана точно.

Поэтому, более актуальным методом является использование нечеткой логики. В последние годы использование данного выбора является преобладающим, т.к. метод основан на нечетких знаниях (нечетких правилах) в области искусственного интеллекта, который способен обрабатывать информацию и знания человеческого языка естественным образом. В этой работе нечеткая логика применяется для диагностики безопасности шахтных технологических процессов в сочетании с анализом управления безопасностью и другими экспериментальными результатами.

Использование нечеткой логики является основной предпосылкой диагностики безопасности технологических процессов в шахте. Диагностика безопасности была основана на нечеткой концепции, нечеткой логике и была способна обрабатывать нечеткую информацию, общая структура которой показана на рис. 1.

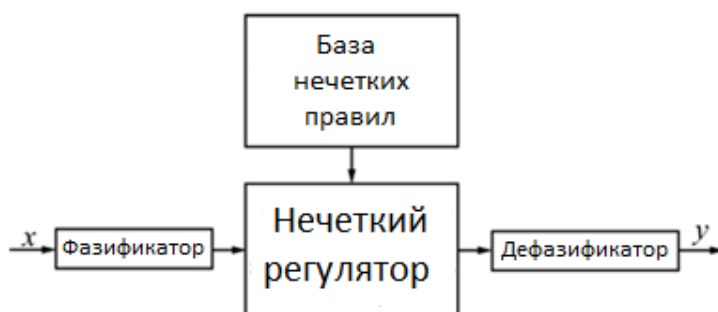


Рисунок 1 – Общая структура диагностики безопасности шахты на основе нечеткой логики

В приведенной выше системе предположим, что входной сигнал x является элементом множества U , а выходной сигнал y является элементом множества V ; x и y определяются нечеткой информацией. Объектом диагностики является нечеткая информация, поэтому сигнал x должен преобразоваться в нечеткий набор множества U с помощью фаззификатора. И окончательный вывод диагноза должен быть четкой информацией.

Необходимо преобразовать нечеткое множество U в определенный y множества V . Фактически, система представляет собой нелинейный преобразователь из данных из множества U в V . На основе соответствующего выбора функции принадлежности, алгоритмов фаззификации и дефаззификации и нечеткого алгоритма рассуждения, диагностика безопасности в шахте может приближаться к заданной нелинейной функции с любым уровнем точности.

База fuzzy-правил - это основа диагностики безопасности на основе нечеткой логики. Основной формат правил диагностики безопасности - «ЕСЛИ... ТО». Схематическое изображение нечетких правил в диагностике безопасности описано на рис. 2. Как показано на рис. 2, $\{x_1, \dots, x_n\}$ - это n текущих состояний, $\{F_1, \dots, F_m\}$ - это m независимых отклонений. Параметр $w_{k,i}$ ($i = 1, \dots, n$) - весовой коэффициент, обозначающий важность текущего состояния x_i для этого правила. Параметр $C_{j,k}$ ($j = 1, \dots, m$) также является весовым коэффициентом, отражающим важность этого правила для различных отклонений безопасности F_j . Диапазоны весовых коэффициентов $w_{k,i}$ и $C_{j,k}$:

$$\sum_{j=1}^n w_{j,k} = 1, w_{j,k} \geq 0 \quad (1)$$

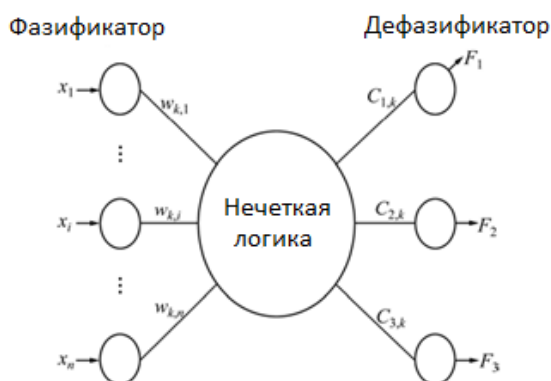


Рисунок 2 – Сеть нечетких правил диагностики безопасности в шахте

$$\sum_{j=1}^m C_{j,k} = 1, C_{j,k} \geq 0 \quad (1)$$

В базе правил нечеткой диагностики отклонение безопасности F_j также может быть связано с несколькими правилами, и одно текущее состояние x_i также может быть нечетким условием нескольких правил одновременно.

После того, как база нечетких правил установлена, система диагностики безопасности может быть построена с использованием метода нечеткого вывода. Этапы диагностики безопасности на основе нечеткой логики обычно можно разделить на следующие шаги.

Шаг 1: В соответствии с x_i ($i = 1, \dots, n$) весомость A_k каждого правила R (k) может быть рассчитана на основе весового коэффициента $w_{k,i}$ ($i = 1, \dots, n$) R (K).

Шаг 2: Рассчитать степень достоверности T_j ($j = 1, \dots, m$) каждого отклонения безопасности F_j в текущей состоянии. T_j определяется степенью активации соответствующих правил A_k и весовым коэффициентом $C_{j,k}$ ($j = 1, \dots, m$) правила R (k). Если отклонение безопасности F_j поддерживается только одним правилом, то достоверность отклонения безопасности равна $T_j = C_{j,k} A_k$. Если оно поддерживается несколькими правилами, то достоверность будет составлено исходя из достоверности всех касающихся правил. Этот синтез может быть достигнут нечетким оператором, таким как оператор нечеткого среднего и оператор смешанного соединения.

Чтобы установить фаззификатор с одним значением, фаззификатор Гаусса и треугольный фаззификатор, необходимо использовать подчиненную функцию одного значения, функцию принадлежности Гаусса и треугольную функцию принадлежности как часть фаззификатора диагностики безопасности в шахте, соответственно. Для любого типа функции принадлежности с правилом «ЕСЛИ... ТО» подчиненная функция с одним значением может значительно упростить вычисление нечеткого вывода. Например, если нечеткое правило «ЕСЛИ... ТО» представляет собой гауссову функцию или треугольную функцию принадлежности, гауссовский или треугольный фаззификатор может также упростить расчет нечеткого вывода и, кроме того, преодолеть шум входных переменных. В соответствии с текущими состояниями, перечисленными в Таблице 1, введен набор данных.

Таблица 1 – Действующие реалии CMPS

Обозначение	Текущее состояние	Обозначение	Текущее состояние
X1	Бездействие	X7	Отсутствие звукового сигнала
X2	Поломка локомотива	X8	Отказ тормозов
X3	Поломка вагонетки	X9	Отсутствие осмотра на развороте
X4	Пропажа локомотива	X10	Погрузка
X5	Нарушение порядка	X11	Посадка водителя
X6	Остановка локомотива	X12	Человек на пути

Дефаззификатор имеет функцию дефаззификации выходного сигнала, преобразуя нечеткую переменную в точное значение, то есть конкретную причину аварии. Например, возьмем В в качестве рассматриваемого нечеткого множества V, у в качестве точного значения и DF в качестве оператора дефаззификации, тогда процесс дефаззификации можно выразить как

$$D_f(\mu_B(y)) \rightarrow \hat{y}$$

Итак, DF должен удовлетворять следующим свойствам:

- 1) когда $y \in (-\infty, a)$, если $\mu_B(y) = 0$, то $DF(\mu_B(y)) \geq a$;
- 2) когда $y \in (-\infty, a]$, если $\mu_B(y) = 0$, то $DF(\mu_B(y)) > a$;
- 3) когда $y \in (a, \infty)$, если $\mu_B(y) = 0$, тогда $DF(\mu_B(y)) \leq a$;
- 4) когда $y \in [a, \infty)$, если $\mu_B(y) = 0$, то $DF(\mu_B(y)) < a$.

В соответствии с текущими состояниями, результаты диагностики безопасности будут иметь вид, указанный в таблице 2.

Таблица 2 – Аномалия CMPS

Обозначение	Происшествие	Обозначение	Происшествие
T	Отклонение безопасности	D	Внеплановая остановка
A	Смертельное происшествие	E	Внеплановое движение
B	Авария	F	Внеплановый ремонт
C	Человек в аварийной зоне	G	Внеплановая транспортировка

Необходимо выбрать функцию принадлежности, состоящую из двух S-образных функций: $f\{x, [a_1, b_1; a_2, b_2]\} = 1 / \{1 + \exp[-a_1(x - b_1)]\} / \{1 + \exp[-a_2(x - b_2)]\}$, а затем определить функцию принадлежности выходных нечетких переменных. Например, в функции принадлежности к внеплановому движению E5, при условии «невозможно A» и «вероятно B», a_1 и a_2 оба равны 5,5; в то время как b_1 составляет -0,5 или 0,5, а b_2 составляет 0,5 или 1,5. Аналогично, принадлежность других функции также может быть определена с помощью вышеуказанного метода.

Получение нечеткого правила имеет важное значение для создания системы диагностики безопасности. Чаще всего, нечеткие правила постепенно получают на основе знаний и опыта экспертов или с помощью самообучающейся системы нечеткой логики. Последняя должна определить размер нечеткой базы правил, нечеткого множества A и форму функции принадлежности μ , оценить параметры в функции принадлежности, а затем завершить процесс обучения и построения базы.

Функция машины нечеткого вывода состоит в том, чтобы выполнять логические рассуждения посредством алгоритма и выводить конечный результат в соответствии с исходными данными с учетом условий базы нечетких правил. Основные формы нечеткого логического вывода включают в себя, как правило, утвердительное рассуждение (нечеткое умозаключение подтверждающего антецедента) и, как правило, отрицательное рассуждение (нечеткое умозаключение отрицания последнего). Для M правил, с учетом нечеткого входа $x = (x_1, \dots, x_n)$, существуют соответствующие результаты y_k ($k = 1, \dots, m$) по каждому правилу нечеткого вывода.

В системе диагностики безопасности на основе нечеткой логики, были приняты комбинированные методы общего позитивного мышления и общего негативного мышления.

Рельсовая транспортная система для угольных шахт является важной частью процесса производства угольных шахт. Анализ аварий показывает, что смертность при перевозках угля составляет более 60% от общего числа несчастных случаев при смертности 55%. Таким образом, безопасность шахтного транспорта имеет решающее значение для работы угольной транспортной системы.

Как показано на рис. 3, дерево отклонений безопасности в основном учитывает два основных происшествия: авария и смерть, приводящая к транспортной аварии. Согласно рис. 3, изучая статистику несчастных случаев на угольных шахтах и консультируясь с экспертами, можно рассчитать значение принадлежности для текущих состояний, как указано в таблице 3, что может послужить значением принадлежности для диагностики безопасности.

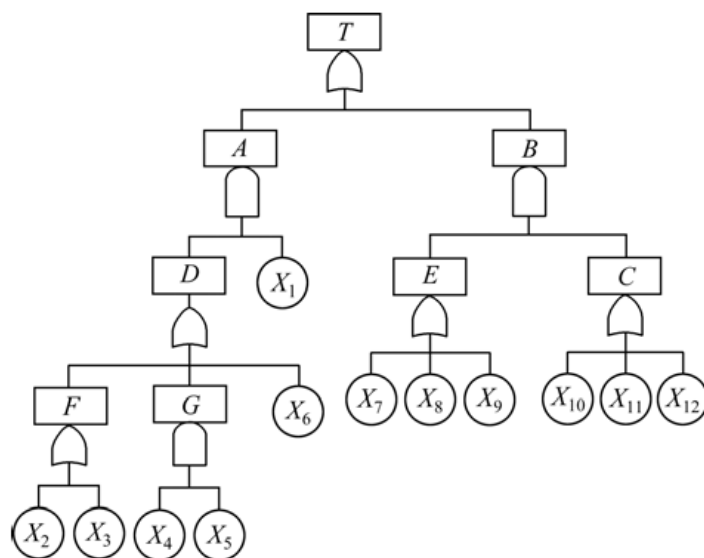


Рисунок 3 – Дерево отклонений безопасности для транспорта угольной шахты

В соответствии со значением принадлежности в текущих состояниях X_1 - X_{12} в системе транспорта угольной шахты, согласно диагностике безопасности, основанной на нечеткой логике, вероятность отклонения безопасности составляет $DF(T) = 0,000\ 559\ 89$. Однако в байесовских сетях полученная предварительная вероятность таких событий составляет $DF(T) = 0,000\ 5607\ 7$. При анализе дерева отказов $DF(T) = 0,000\ 5681\ 5$. Из приведенных выше результатов результат согласуется с принципом, согласно которому минимальный набор среза равен немного больше, чем фактическое значение.

Таблица 3 – Значения членства текущих реалий CMPS

Обозначение	Степень принадлежности	Обозначение	Степень принадлежности
X1	0,003	X7	0,007
X2	0,02	X8	0,02
X3	0,004	X9	0,008
X4	0,005	X10	0,003
X5	0,01	X11	0,006
X6	0,002	X12	0,005

Для сравнения диагностики с помощью нечеткой логики, байесовских сетевых методов и анализа дерева отказов был установлен диапазон вероятности транспортных происшествий DF (Т) от 0,4 до 1,0, и 150 значений были выбраны из них случайным образом. Далее смоделировано распределение вероятности методами нечеткой логики и байесовского сетевого метода. Следовательно, анализ дерева отказов (I) относится к моделированию, данные которого поступают из обратного вывода нечеткой логики, а анализ дерева отказов (II) означает моделирование, данные которого поступают из обратного вывода из байесовской сети. Все три метода устанавливают две трети данных о распределении вероятности в качестве обучающего набора, а остальные - в качестве набора для тестирования. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительный результат методов диагностики безопасности

Метод	Скорость выявления ошибок обучающего набора данных	Скорость выявления ошибок тестового набора данных
Анализ дерева отказов (I)	0,159	0,264
Анализ дерева отказов (II)	0,164	0,278
Байесовская сеть	0,146	0,207
Метод нечеткой логики	0,093	0,163

Данные моделирования показывают, что скорость выявления ошибок у метода нечеткой логики является самой высокой, за ним следует байесовская сеть, а у метода анализа дерева отказов является самой низкой.

Следовательно, использование метода нечеткой логики в качестве метода диагностики аварийных ситуаций позволит в наибольшей мере ускорить процесс определения вида аварии, уменьшить количество неудачных или несвоевременных решений, а также снизит влияние человеческого фактора за счет постоянного автоматического анализа всех доступных параметров.

Перечень ссылок

1. Laurence D. Safety rules and regulations on mine sites, The problem and a solution, Journal of Safety Research, 2005. -39–50 p.
2. Петров Б.Н. и др. Теория моделей в процессах управления. -М.: Наука, 1978. -224 с.
3. D.D. Koci,c, On the autonomy of local systems in mine ventilation control, Second Mine Ventilation Congress, Reno, USA, 1979.
4. Shreiber R. Air Flow Control Using Fuzzy Logic, Microchip Technology Inc. Application Note AN600, 1997. -21p.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ ПУНКТОМ

Чельтер Л.А., магистрант; Чернышев Н.Н., доцент, к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Как известно, система автоматического управления (САУ) — комплекс устройств, обеспечивающих автоматическое изменение ряда координат (или одной координаты) объекта управления с целью установления желаемого режима работы объекта. Под желаемым следует понимать такой режим, при котором достигается цель управления: обеспечивается достижение заданных значений регулируемых величин или оптимизируется определенный критерий качества управления.

САУ могут быть системами управления разомкнутыми (без обратной связи), системами управления замкнутыми (с обратной связью) или комбинированными системами автоматического управления. Широкое распространение получили САУ для стабилизации определенных координат объекта управления, программного и следящего управления. При значительных изменениях параметров объекта управления, переменных во времени характеристиках внешних возмущений и помех в последнее время стали использоваться адаптивные САУ (самоадаптирующиеся), самообучающиеся системы, в частности системы с переменной структурой. Некоторые сложные задачи оптимизации управления объектом управления могут быть решены с помощью систем экстремального регулирования. Задачи согласованного управления рядом многомерных объектов с несколькими противоречивыми критериями качества решаются с помощью теории сложных систем управления. Примером таких систем служат иерархические системы управления.

В настоящий момент, в существующих системах часто используются концепция замкнутой системы с обратной связью (рис. 1).

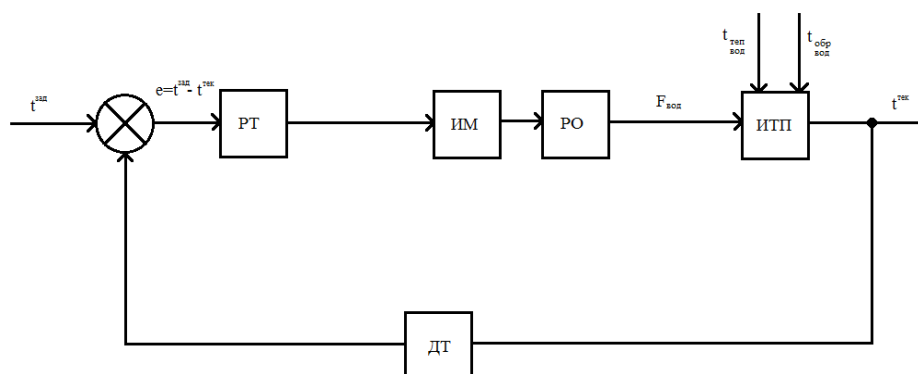


Рисунок 1 – Структурная схема САУ ИТП с обратной связью

На рис. 1 обозначены: $t^{\text{зад}}$ – желаемая температура, $t^{\text{тек}}$ – текущая температура, e – сигнал рассогласования, $t_{\text{теп.вод}}$ – температура воды, поступающая из теплосети, $t_{\text{обр.вод}}$ – температура воды из обратного трубопровода, $F_{\text{вод}}$ – расход горячей воды из теплосети, идущей на теплообменник, РТ – регулятор температуры, ИМ – исполнительный механизм, РО – регулирующий орган, ИТП – индивидуальный тепловой пункт, ДТ – датчик температуры.

Данная система позволяет измерять температуру воды на выходе ИТП при помощи датчика температуры и корректировать ее в случае необходимости, учитывая возмущающие воздействия $t_{\text{теп.вод}}$ и $t_{\text{обр.вод}}$. Недостатком данной системы является то, что возмущающие воздействия обрабатываются системой после того, как произошло регулирование, вследствие чего текущая температура будет отличаться от заданной. Для того чтобы увеличить эффективность регулирования можно использовать замкнутую систему с комбинированной

связью (рис. 2). При такой концепции возмущающие воздействия учитываются и компенсируются до того, как сигнал пойдёт на исполнительный механизм, поэтому в результате регулирования на выходе индивидуального теплового пункта текущая температура будет иметь необходимые показатели.

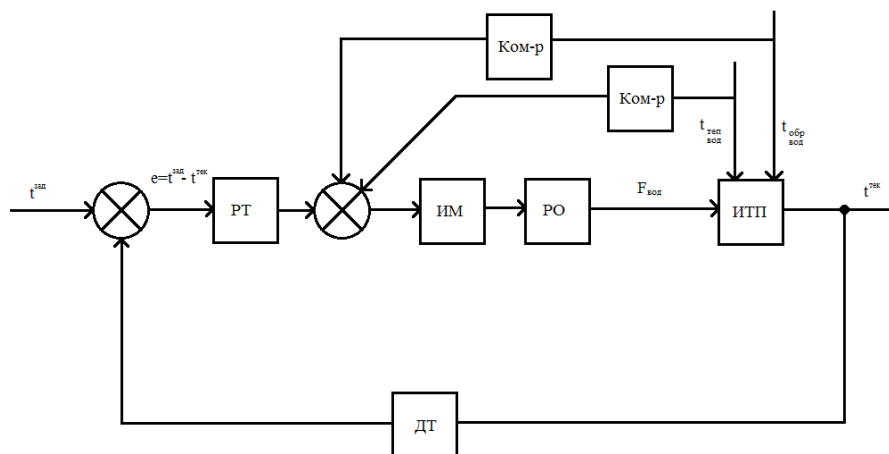


Рисунок 2 - Структурная схема САУ ИТП с комбинированной связью

На рис. 2 обозначены: $t^{\text{зад}}$ – желаемая температура, $t^{\text{тек}}$ – текущая температура, e – сигнал рассогласования, $t_{\text{теп.вод}}$ – температура воды, поступающая из теплосети, $t_{\text{обр.вод}}$ – температура воды из обратного трубопровода, $F_{\text{вод}}$ – расход горячей воды из теплосети, идущей на теплообменник, РТ – регулятор температуры, ИМ – исполнительный механизм, РО – регулирующий орган, ИТП – индивидуальный тепловой пункт, ДТ – датчик температуры, Ком-р – компенсатор.

Для предложенных решений необходимо определить алгоритмы управления по рассмотренным контуру управления. На рис.3 приведена структурная схема индивидуального теплового пункта.

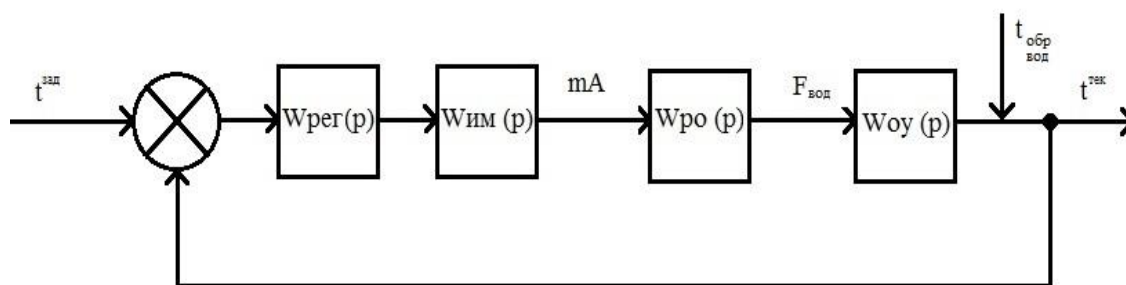


Рисунок 3 – Структурная схема САУ стабилизации напора насоса

На схеме (рис. 3) видно, что на вход подают заданную температуру $t^{\text{зад}}$, затем вычисляется рассогласование между $t^{\text{зад}}$ и $t^{\text{тек}}$. Это достигается за счёт использования обратной связи. Данная система является одноконтурной. Этот контур обеспечивает регулирование температуры воды.

Управляющая величина $W_{\text{рег}}$ воздействует на исполнительный механизм $W_{\text{им}}$, представленный одношаговым двигателем. Двигатель приводит в движение регулирующий орган $W_{\text{ро}}$ (задвижку), которая регулирует расход горячей воды из теплосети, поступающей на теплообменник для поддержания заданной температуры.

Из технической литературы известно, что если рассматривать ИТП как черный ящик со входом в виде расхода воды и выходом в виде температуры, то поведение

ИТП можно описать следующей передаточной функцией:

$$W_{Oy}(s) = \frac{k}{T_{Oy}s + 1}, \quad (1)$$

где k – коэффициент усиления, равный отношению температуры к расходу воды, необходимому для поддержания этой температуры;

T_{Oy} – постоянная времени объекта управления.

Исполнительный механизм и рабочий орган можно также описать передаточными функциями аperiodического звена первого порядка.

Подставив в структурную схему (рис.3) передаточные функции получим модель САУ ИТП (рис.4).

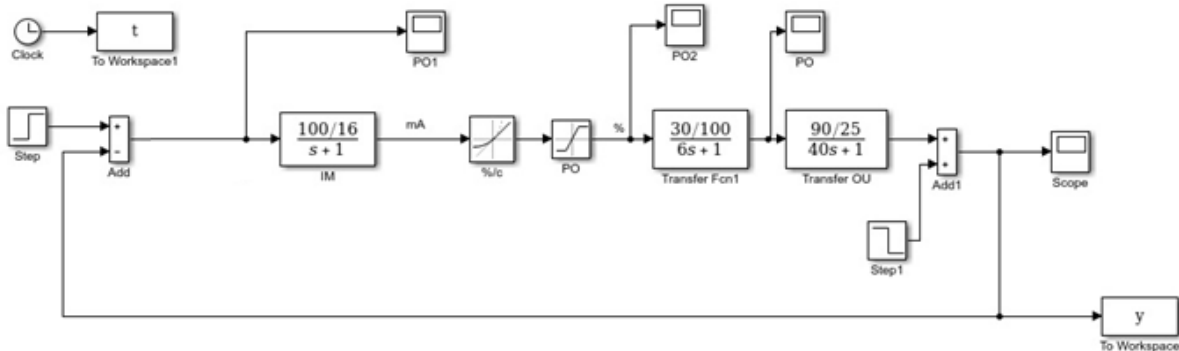


Рисунок 4 - Модель САУ индивидуального теплового пункта с обратной связью

Анализ качества управления САУ ИТП без регулятора. Моделирование переходных процессов в САУ ИТП осуществлялось в пакете simulink программного комплекса Matlab. На рис. 5 приведена переходная характеристика силы тока, подающаяся на исполнительный механизм, переходная характеристика степени открытия задвижки, переходная характеристика расхода воды, переходная характеристика температуры на выходе.

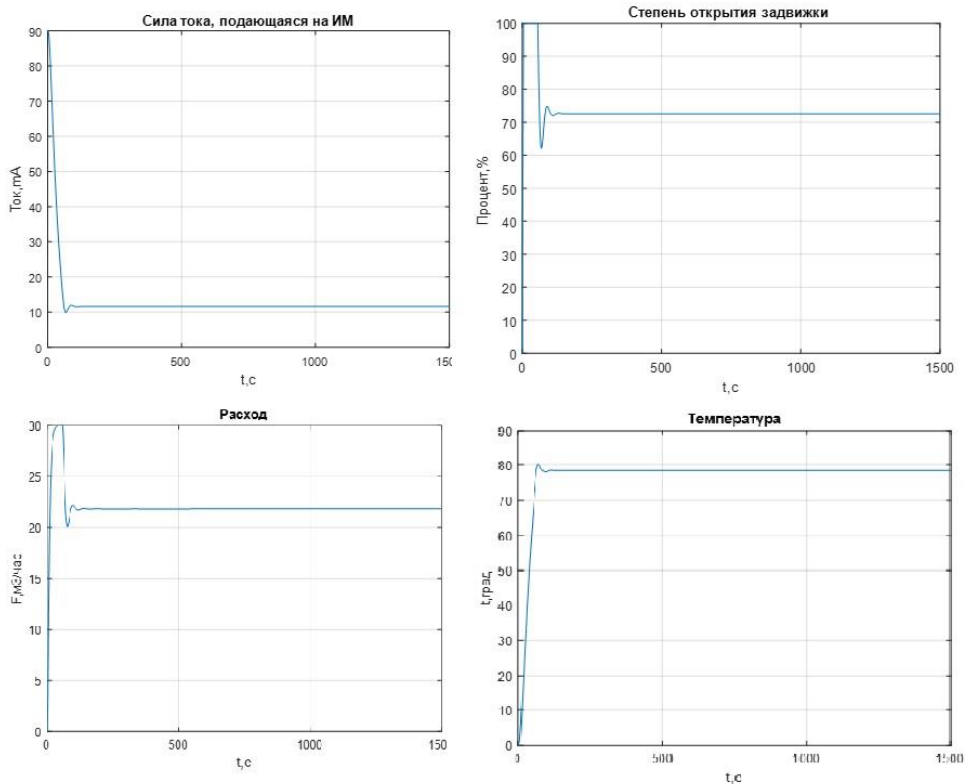


Рисунок 5 – характеристики переходных процессов

Проанализировав полученные результаты, можно убедиться в том, что для данной системы необходимо провести регулирование. Это видно по многим причинам, таким как большое перерегулирование на всех графиках, колебательный процесс расхода воды и то, что в итоге нужная температура не была достигнута. Было принято решения использовать ПИД-регулятор для улучшения работоспособности САУ.

Анализ качества управления САУ ИТП с регулятором. Первоначально, для улучшения качества САУ, был использован ПИД-регулятор, но в процессе настройки он выродился в И-регулятор. Его настройки можно увидеть на рис. 6.

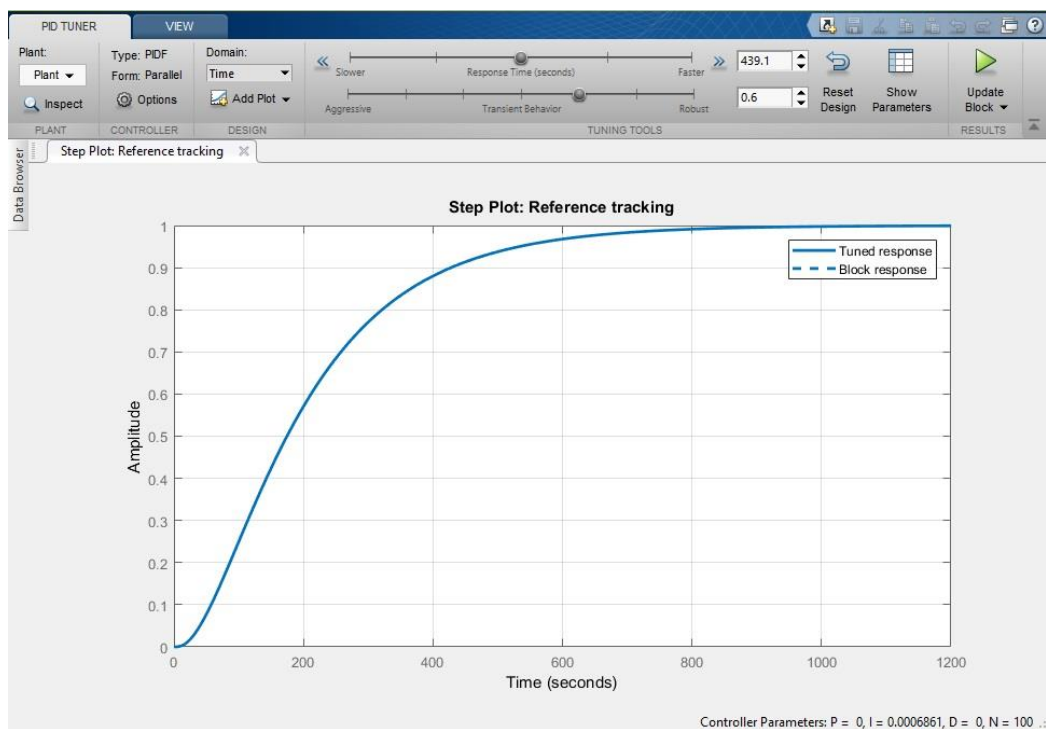


Рисунок 6 - Настройки блока регулятора

Схема с И-регулятором приведена на рисунке 7.

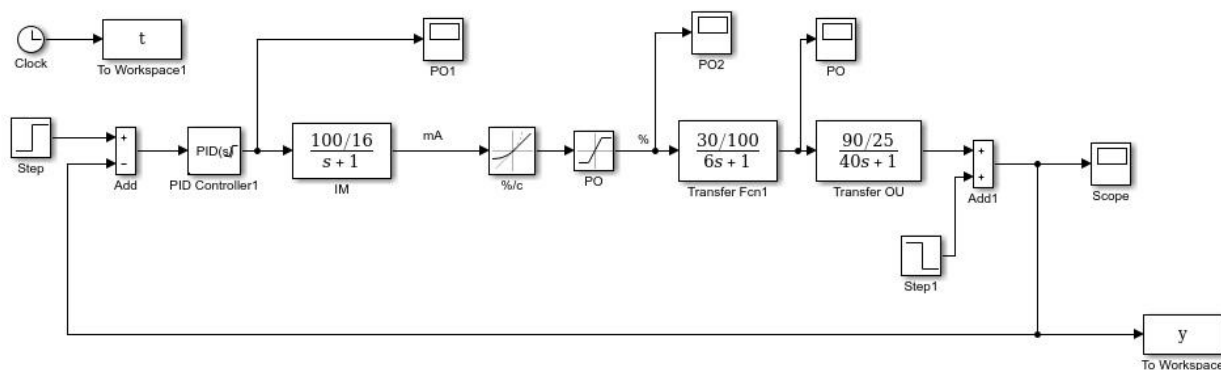


Рисунок 7 – Модель САУ индивидуального теплового пункта с обратной связью и И-регулятором

На рис. 8 приведена переходная характеристика силы тока, подающаяся на исполнительный механизм с использованием И-регулятора, переходная характеристика степени открытия задвижки, переходная характеристика расхода воды, переходная характеристика температуры на выходе.

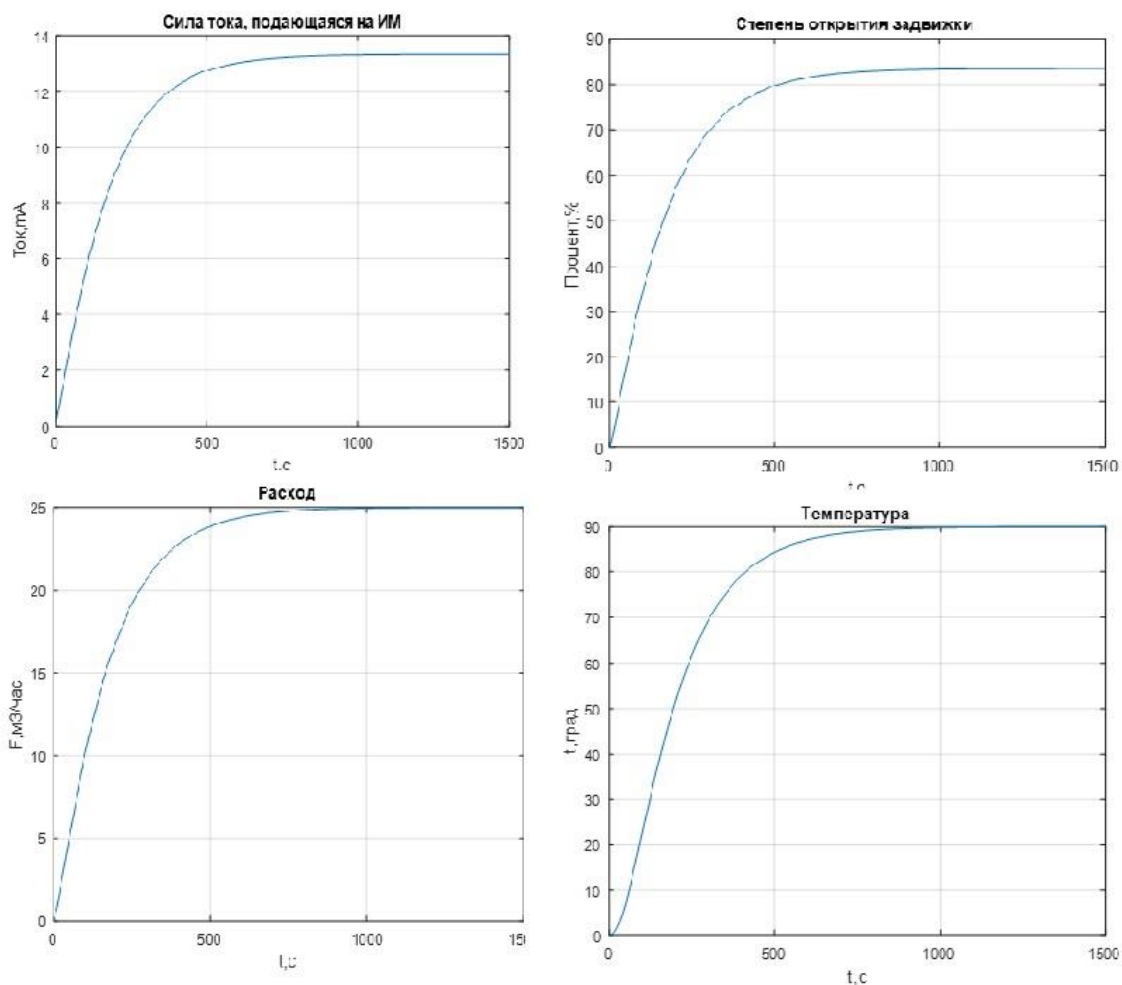


Рисунок 8 – характеристики переходных процессов с использованием И-регулятора

Проанализировав полученные результаты, можно убедиться в том, что необходимая температура была достигнута. Процесс ведёт себя стабильно на всех графиках, колебательный процесс больше не наблюдается.

Выполненное моделирование подтвердило эффективность полученных настроек: статическая ошибка и перерегулирование отсутствуют, следовательно, данная система пригодна для эксплуатации в установившемся режиме.

Перечень ссылок

1. Гаврилов П.Д. Автоматизация производственных процессов. Учебник для вузов. / Гаврилов П.Д., Гимельштейн Л.Я., Медведев А.Е. – М.: Недра, 1985. - 215 с.
2. Тимошенко Г.М. Научные основы проектирования и эксплуатации насосных установок в переходных режимах. / Тимошенко Г.М. – Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1986.- 127 с.
3. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. / Зайцев Г.Ф. – Киев: Вища школа, 1988 - 431 с.
4. Лукас В. А. Теория автоматического управления. / Лукас В. А. – М.: Недра, 1990. – 416 с.
5. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. / Р. Дорф, Р. Бишоп – М.: Лаборатория Базовых знаний.- 2002 - 832 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ВЕНТИЛЯТОРНОГО ТИПА

Шевченко Б. В., студ.; Суков С. Ф., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Для идентификации зависимости частоты вращения электродвигателя от перепада температур горячей/охлаждённой воды, температуры окружающего воздуха, его влажности предполагает применение нейронной сети. Благодаря своей обучаемости и способности к элементам запоминания, нейронные сети могут значительно облегчить и ускорить решение задач идентификации в узком ее смысле.

Крупные и сложные нейронные сети обладают, как правило, большими вычислительными возможностями, и в последние годы были разработаны алгоритмы для их обучения[1].

Для обучения нейронной сети применим алгоритм обратного распространения ошибки. Рассмотрим работу алгоритма на примере сети с одним скрытым слоем и одним выходом (рис. 1).

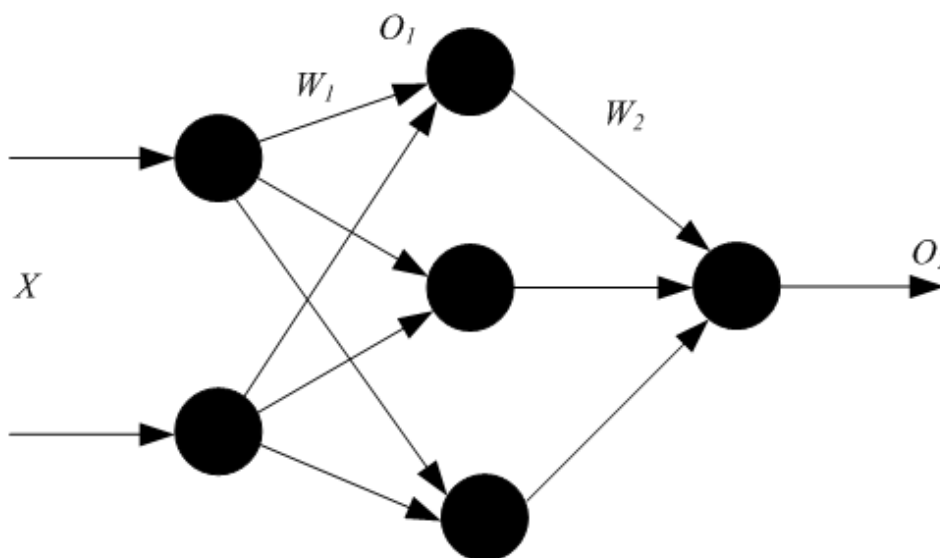


Рисунок 1 - Многослойный перцептрон

Преобразования входных сигналов, задаваемые нейронной сетью, определяются следующими формулами:

$$\begin{aligned}
 F(\langle W, X \rangle) &= 1/(1 + \exp(-W^T X)); \\
 O_1 &= 1/(1 + \exp(-W_1^T X)); \\
 O_2 &= 1/(1 + \exp(-W_2^T O_1)).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Общая функция ошибки зависит от весов всех слоев, в нашем случае от вектора W_2 и от матрицы W_1 :

$$E(W_1, W_2) = 1/2(Y - 1/(1 + \exp(-W_2^T O_1)))^2,
 \tag{2}$$

где Y – выход, который задан в обучающей выборке.

Теперь необходимо определить приращение каждого веса с помощью частных производных:

$$\frac{\partial E(W_2, W_1)}{\partial W_2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial E(W_2, W_1)}{\partial W_1}.$$

Для многослойной архитектуры частные производные ошибки по матрице весов каждого слоя определяются по формуле сложной производной. В случае униполярной сигмоиды правило изменения весов будет следующим:

$$W_2 = W_2 + h \cdot (Y - O_2) \cdot O_2 \cdot (1 - O_2) \cdot O_1;$$

$$\partial = (Y - O_2) \cdot O_2 \cdot (1 - O_2); \quad (4)$$

$$W_1 = W_1 + h \cdot \partial \cdot W_1 \cdot (1 - O_1) \cdot O_1 \cdot X.$$

Таким образом, метод обратного распространения ошибки позволяет изменять веса промежуточных слоев, хотя желаемые значения на промежуточных слоях не заданы[2].

Зададим с помощью графика известные данные для скорости вращения двигателя градирни и температуры воздуха для влажности 55%. В результате получим зависимость скорости вращения двигателя градирни и температуры воздуха для влажности 55% приведённый на рис. 2.

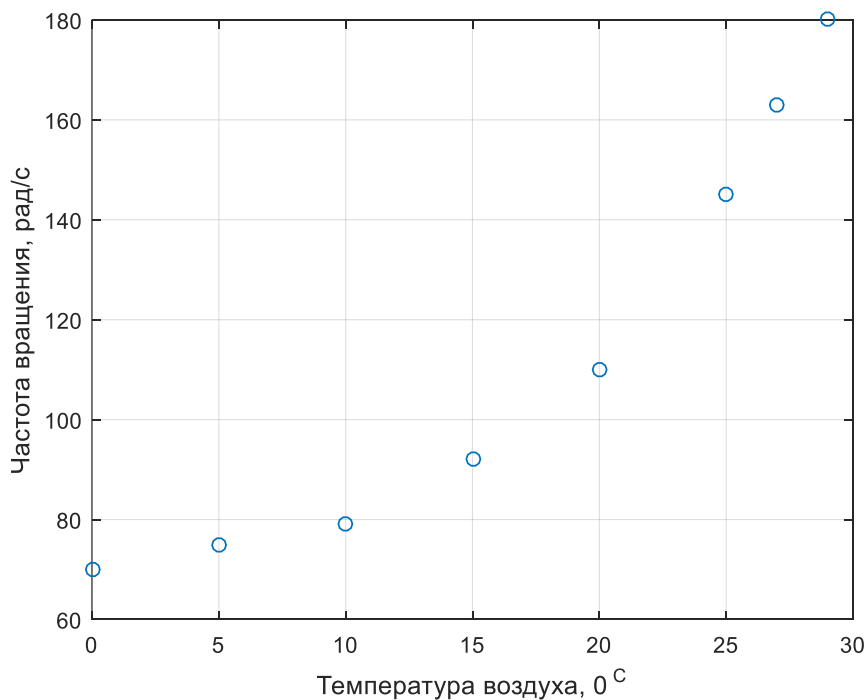


Рисунок 2 - Зависимость скорости вращения двигателя градирни и температуры воздуха для влажности 55%

Создадим двухслойную сеть прямого распространения. На вход сети подаются значения температуры воздуха от 0 до 30 °С, первый слой с 10 нелинейными сигмоидальными, второй – с одним линейным нейроном.

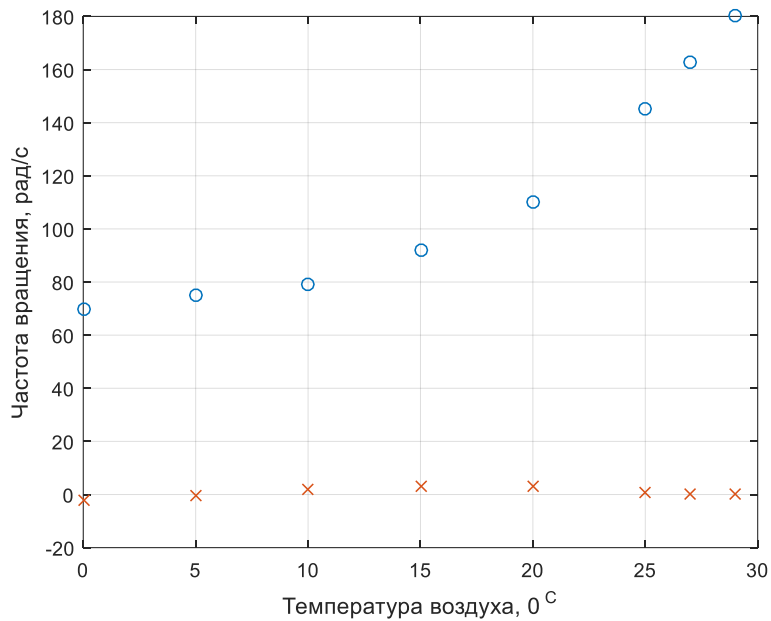


Рисунок 3 - Результаты работы необученной нейронной сети

Проведем обучение нейронной сети. Для оценки достоверности результатов работы сети можно воспользоваться результатами регрессионного анализа, полученными при сравнении эталонных значений со значениями, полученными на выходе сети когда на вход поданы входные векторы тестового массива.

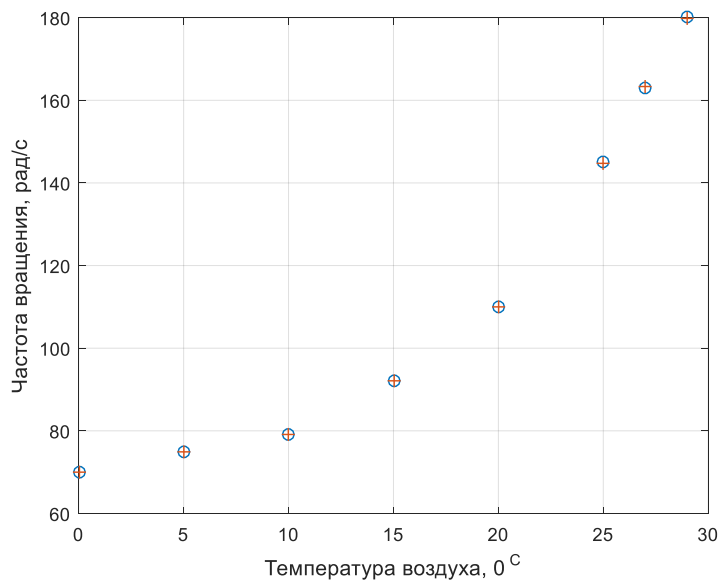


Рисунок 4 - Результаты работы обученной нейронной сети

На рис. 4 представлено сравнение компонентов эталонных векторов с соответствующими компонентами выходных векторов сети. Видно, что все точки легли на данные измеренные, что говорит о правильной работе сети на тестовом массиве.

Перечень ссылок

1. Федяев, О.И. Нейронные сети: прогнозирование как задача распознавания образов/ О. И. Федяев, Д. П. Пауков. – Донецк, 2003.
2. Ковалев, С.М. Моделирование искусственных нейронных сетей в среде matlab/ С.М. Ковалев, А.Е. Хатламаджиян. - Ростов-на-Дону, 2008.

ВЫБОР ПРИНЦИПА И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ В ОХЛАДИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ВЕНТИЛЯТОРНОГО ТИПА

Шевченко Б. В., студ.; Суков С. Ф., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В результате анализа вентиляторной градирни как объекта управления выявлены управляющие, регулируемые и возмущающие факторы, различные комбинации которых могут случайным образом влиять на процесс теплового обмена.

Совокупность технических средств, обеспечивающих автоматическое управление, образуют автоматическое управляющее устройство (АУУ), (рис.1).

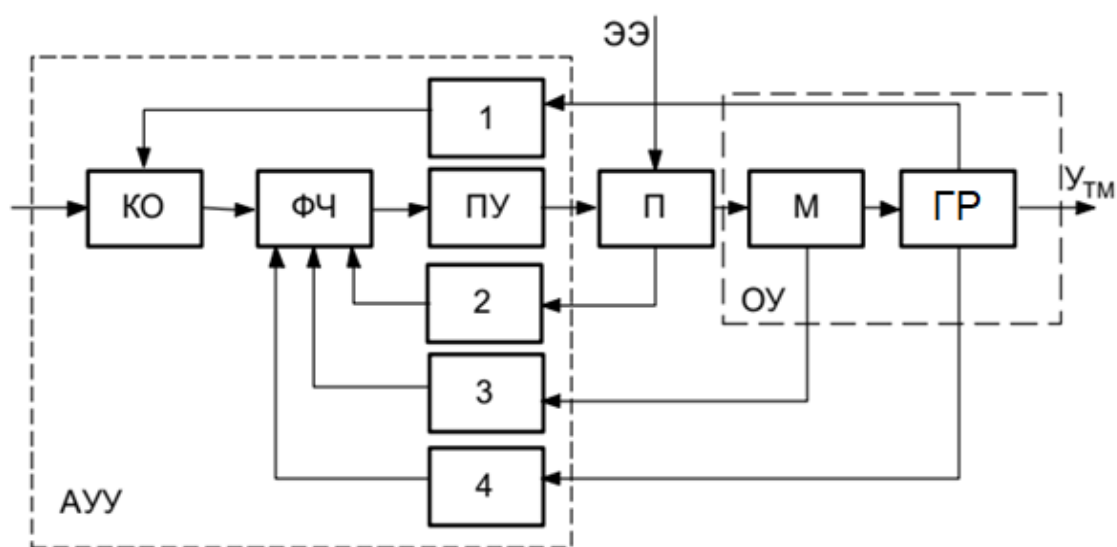


Рисунок 1 – Функциональная схема системы автоматического управления вентиляторной градирней

В основной прямой части системы имеем: КО - командный орган; ФЧ - функциональная часть (может включать электронный блок, в котором идёт обработка и преобразование обратных связей); ПУ - промежуточный усилитель; П - преобразователь; М - электрическая машина; ГР - градирня; 1 - главная обратная связь (ОС), жёсткая; 2-4 - вспомогательные ОС, (гибкие); ЭЭ – электрическая энергия; ОУ – объект управления.

АУУ состоит из КО, подающего сигналы управления на задание или изменение режима работы, ФЧ, которая преобразует командные сигналы, формируя требуемый закон управления и выполняет основную функцию АУУ, ПУ, усиливающего сигнал управления до требуемого значения управления преобразователем П. Преобразованная ЭЭ в силовом преобразователе П поступает на электродвигатель М и далее в виде механической энергии поступает по кинематическим связям на градирню ГР. Элементы структуры охвачены обратными связями 1-4 для поддержания или изменения режима работы ГР.

Режимы работы электродвигателя М определяются величинами, характеризующими процесс интенсивности охлаждения воды (температура воды на выходе из градирни). Температура воды должна изменяться по требуемому закону во времени, т.е. регулироваться.

В реальных системах управления всегда существуют величины (возмущающее воздействие или возмущение), отклоняющие температуру от требуемого закона её изменения. Основным возмущением обычно является температура входящей воды, влажность и температура окружающего воздуха.

Поскольку большая часть возмущающих факторов может быть измерена и учтена при расчете управляющего воздействия, то это позволяет применить принцип комбинированного управления. Комбинированное управление сочетает в себе все достоинства управления по отклонению и внешнему возмущению. При этом сигнал управления на объект формируется по двум каналам. Первый канал чувствителен к отклонению регулируемой величины от задания. Второй формирует управляющее воздействие непосредственно из задающего или возмущающего сигнала. Такая система позволит лучше компенсировать действие возмущающих факторов и будет менее чувствительной к изменению параметров регулируемого объекта.

Так как скорость вращения вентилятора задаётся в условиях одновременного случайного изменения всех параметров, для получения стабильной температуры охлаждённой воды необходимо[1]:

- получить и обработать достоверную информацию с соответствующих датчиков;
- вычислить оптимальную (заданную) скорость вращения вентилятора градирни;
- скорректировать её с учётом стабилизирующего действия обратной связи по выходной координате - температуре охлаждённой воды.

При расчете управляющих воздействий, эффект от комбинированного управления определяется тем, что используются вся имеющаяся информация о задающем и возмущающем воздействии.

Система управления скоростью вращения электродвигателя обрабатывает задающие воздействие от КО управления температурой воды на выходе градирни и поддерживают заданную скорость вращения в статике и динамике.

Система управления является замкнутой и обеспечивает более высокую точность поддержания постоянства заданной координаты, чем разомкнутая. Функциональная схема представлена на рис. 2 состоит из командного органа КО, системы управления СУ, силового преобразователя П и обратной связи по скорости ДС двигателя, сигнал которой поступает на вход СУ, где происходит сравнение его с заданным.

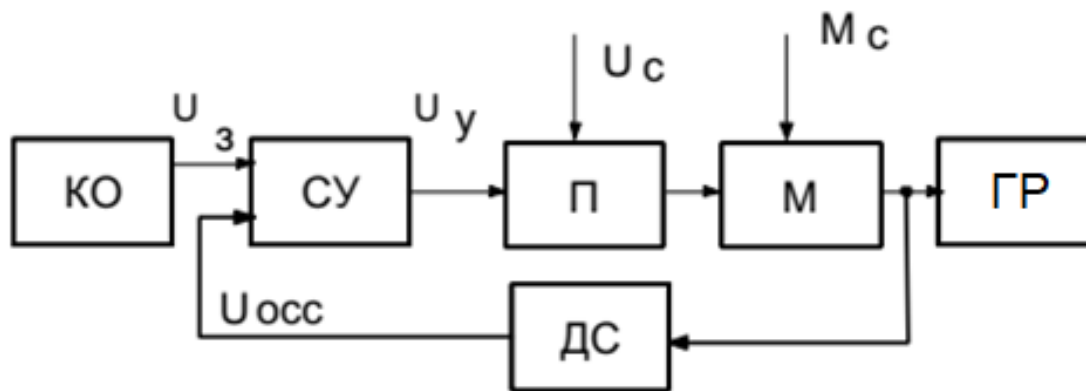


Рисунок 2 – Функциональная схема системы управления скоростью вращения электродвигателя

Сигнал задания определяет требуемое значение установившейся скорости. Так, при увеличении силового возмущения M_c скорость ω уменьшится. При этом также уменьшится сигнал обратной связи U_{ocs} , возрастает разность сигналов $U_{zc} - U_{ocs}$ на входе СУ, что приведет к увеличению управляющего сигнала U_y и напряжения U_n . После переходного процесса установится новое значение скорости, несколько меньше прежнего.

В системе автоматического управления температурой воды в вентиляторной градирни применим закон векторного управления электродвигателем. Векторное управление позволяет независимо и практически безынерционно регулировать скорость вращения и момент на валу электродвигателя (рис. 3).



Рисунок 3 – Функциональная схема системы автоматического управления скоростью вращения асинхронного двигателя

Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем[2]:

1. Высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, несмотря даже на возможное отсутствие датчика скорости.
2. Осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно.
3. Если установлен датчик скорости, то можно достичь номинального значения момента на валу даже при нулевом значении скорости.
4. Быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода.
5. Высокий уровень КПД (коэффициент полезного действия) двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Несмотря на очевидные преимущества, метод векторного управления имеет и определенные недостатки – большая сложность вычислений, для работы необходимо знание параметров двигателя. Помимо всего прочего колебания значения скорости при постоянной нагрузке значительно больше, нежели при скалярном методе управления. Но эти недостатки легко устраняются применением современных преобразователей частоты.

Выводы.

На основании проведенного анализа вариантов концепций систем управления выбран принцип комбинированного управления с реализацией частичной инвариантности. Приведена функциональная схема системы автоматического управления вентиляторной градирней.

Перечень ссылок

1. Пономаренко, В. С. Градирни промышленных и энергетических предприятий / В. С. Пономаренко, Ю. И. Арефев. – Москва : Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
2. Бибик, О. А. Векторное управление электроприводом подачи очистного комбайна SL 300 NE / О. А. Бибик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й Международной научно-технической конференции. - Минск : БНТУ, 2017. - Т. 1. - С. 247.

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ БАЙПАСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА В КОТЛЕ-УТИЛИЗАТОРЕ

Шепель В. В., студ.; Ткачев Р. Ю., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск, ЛНР)

Одним из важнейших параметров, характеризующих работу котлоагрегата, является температура перегретого пара. Повышение либо понижение ее выше установленных пределов может вызвать некорректную работу котла, повреждения и даже аварии. Поэтому очень важно поддерживать ее на заданном уровне.

В зависимости от конструкции котла применяются разные методы регулирования температуры перегретого пара. На котлоагрегатах малой и средней мощности часто применяют поверхностные пароохладители. В большинстве случаев регулирование температуры перегретого пара здесь происходит за счет изменения расхода воды, однако также применяется вариант регулирования температуры за счет изменения расхода пара через пароохладитель. Осуществляется это с помощью байпаса, установленного в обход пароохладителя. Такая схема применяется, например, в котле-утилизаторе КСТК-35/40-100. Здесь температура перегретого пара зависит от расхода пара идущего через поверхностный пароохладитель и пара, идущего по байпасу в обход пароохладителя [1, 2].

Насыщенный пар из барабана поступает в первую ступень пароперегревателя, а затем направляется в поверхностный пароохладитель. Далее пар из пароохладителя поступает во вторую ступень пароперегревателя, откуда направляется к потребителю. При такой схеме регулирования, как правило, дополнительный клапан, установленный на линии пароохладителя, фиксируют в одном положении согласно режимной карте, а регулирование температуры перегретого пара осуществляется байпасным перепуском перегретого пара мимо поверхностного пароохладителя (рисунок 1). При этом давление и температура воды, поступающей на пароохладитель, остаются постоянными.

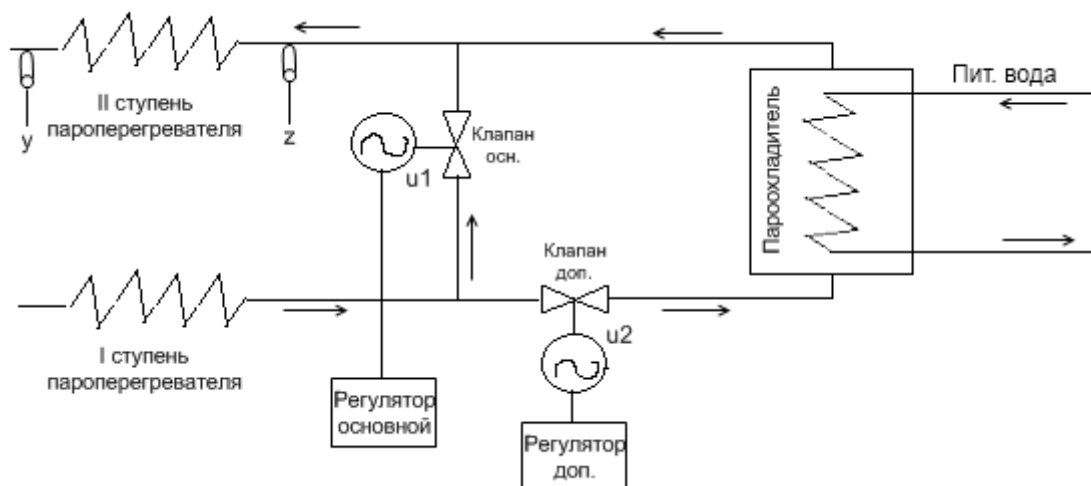


Рисунок 1 – Схема байпасного регулирования температуры перегретого пара

Установленный клапан на байпасе, позволяет изменять диапазон регулирования расхода и температуры пара. Особенностью такого регулирования является изменение тепловосприятости промперегревателя при очень слабом влиянии на тракт первичного пара. В этом отношении регулирование температуры пара вторичного перегрева практически является автономным.

Благодаря низкому значению температурного напора в холодном пакете, изменение расхода пара через него существенно сказывается на тепловосприятости пакета. Даже

небольшая доля байпасирования уже заметно влияет на изменение температуры пара на выходе из пакета.

Горячая (II) ступень перегревателя находится в зоне высоких температур газов и работает с высоким температурным напором. Поэтому здесь температурный напор и тепловосприятие относительно мало изменяются при изменении температуры пара на входе. Таким образом, эта ступень перегревателя мало чувствительна к изменению температуры пара, и глубина регулирования конечной температуры пара в основном определяется изменением теплосъёма в «холодном» пакете.

С увеличением пропуска пара по байпасной линии тепловосприятие первой ступени (холодного пакета) уменьшается и температура на входе во вторую ступень (горячий пакет) будет снижаться. Это вызывает рост тепловосприятия в горячем пакете. При этом произойдёт явление некоторой «тепловой самокомпенсации», направленной в сторону стабилизации температуры пара.

Важной проблемой является регулирование температуры во второй ступени, так как при наличии возмущений, система может выйти за допустимый диапазон регулирования температуры и в связи с этим процесс отработки возмущения затянется.

Для решения данной проблемы предлагается реализация системы с двумя автономными регуляторами, структурная схема которой представлена на рисунке 2. Такое построение позволяет перераспределить суммарное управляющее воздействие между регулируемым потоками. Здесь каждый регулятор управляет своим клапаном, а связь между ними происходит путем определения коэффициента участия регуляторов.

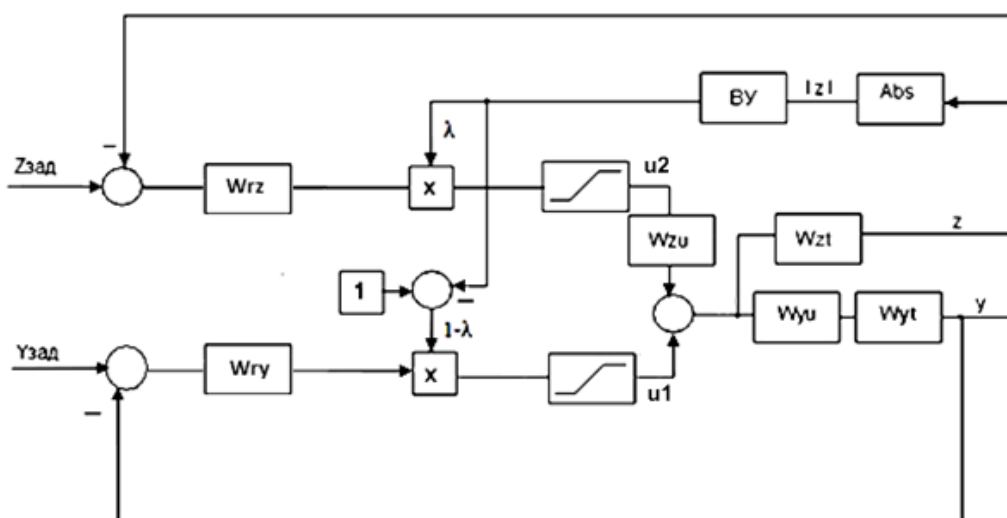


Рисунок 2 – Структурная схема АСР с двумя независимыми регуляторами

Исходя из схемы, предполагается, что датчики температуры должны быть установлены на выходе второй ступени пароперегревателя, а также перед второй ступенью пароперегревателя – после соединения охлаждаемого и байпасного потоков. На данной схеме под W_{yu} и W_{zu} обозначены передаточные функции второй ступени пароперегревателя и пароохладителя. Под W_{yt} и W_{zt} обозначены передаточные функции соответствующих термодатчиков, а под W_{ry} и W_{rz} – регуляторы основной и промежуточной величины. Также на схеме учтено наличие ограничений управляющих воздействий по скорости и по уровню.

Данная схема предполагает, что регулирование основной величины осуществляется клапаном, установленным на байпасе, а регулирование промежуточной величины осуществляется клапаном, установленным перед пароохладителем.

Особенностью схемы регулирования является определение коэффициента участия регуляторов λ . Введение данной величины связано с тем, что в системе байпасного

регулирования температурой перегретого пара открытие либо закрытие двух клапанов взаимосвязано, когда открывается один – прикрывается другой и наоборот.

Коэффициент участия рассчитывается в вычислительном устройстве ВУ по модулю промежуточной величины температуры перегретого пара и определяется по формуле (1).

$$\lambda = \begin{cases} 0, & \text{при } \rightarrow |z(t)| < z_{lo} \\ \frac{|z(t)| - z_{lo}}{z_{hi} - z_{lo}}, & \text{при } \rightarrow z_{hi} > |z(t)| \geq z_{lo} \\ 1, & \text{при } \rightarrow |z(t)| > z_{hi} \end{cases} \quad (1)$$

где z_{lo} и z_{hi} – соответственно нижний и верхний задаваемые пределы отклонения модуля величины $z(t)$.

Таким образом, согласно структурной схеме на рисунке 2, сигнал с выхода регулятора будет умножаться на коэффициент участия, который находится в пределах от 0 до 1, и только тогда будет открывать или закрывать клапан.

Для иллюстрации работы системы байпасного регулирования температуры перегретого пара была рассчитана математическая модель объекта и получены такие передаточные функции:

- для малоинерционного объекта, в состав которого входит пароохладитель и термopара перед второй ступенью перегревателя:

$$W = \frac{1}{(13 \cdot p + 1) \cdot (12,5 \cdot p + 1)};$$

- для инерционного объекта, в состав которого входит вторая ступень пароперегревателя и термopара за ней:

$$W = \frac{1}{(23 \cdot p + 1)(16 \cdot p + 1)^3(12,5 \cdot p + 1)} e^{-15p}.$$

Параметры настройки регуляторов:

- основного: $K_p=0,99$; $T_i=57,6$;
- дополнительного: $K_p=0,123$; $T_i=1,76$.

Проведя моделирование полученной системы регулирования в системе MatLab, с помощью пакета Simulink, получим графики переходных процессов на рисунке 3 – отработку системой задающего и возмущающего воздействий.

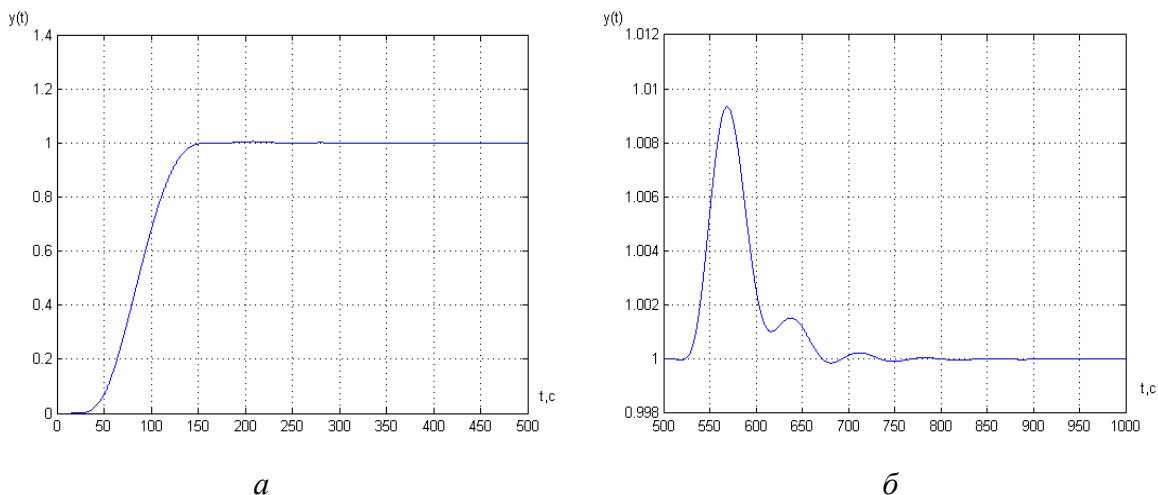


Рисунок 3 – Графики переходных процессов по заданию(а) и по возмущению(б)

Также рассмотрим график изменения коэффициента участия λ (рисунок 4) и графики переходных процессов на выходе основного и промежуточного регуляторов с учетом ограничений при наличии задающего, а потом возмущающего воздействий (рисунок 5).

Как видно из рисунка 5, быстродействие в переходном процессе обеспечивается одновременной реакцией двух регуляторов на задающее воздействие. Регулятор вспомогательной координаты здесь уходит в насыщение, так как коэффициент λ в этот момент почти доходит до 1, однако на всей системе это не сказывается, так как в это время другой регулятор продолжает регулировать. Также можно увидеть, что при подавлении возмущения отсутствует запаздывание у регулятора основной величины, поскольку коэффициент λ высчитывается по промежуточной величине и меняет долю участия регуляторов раньше, чем сигнал основной величины придет на вход основного регулятора.

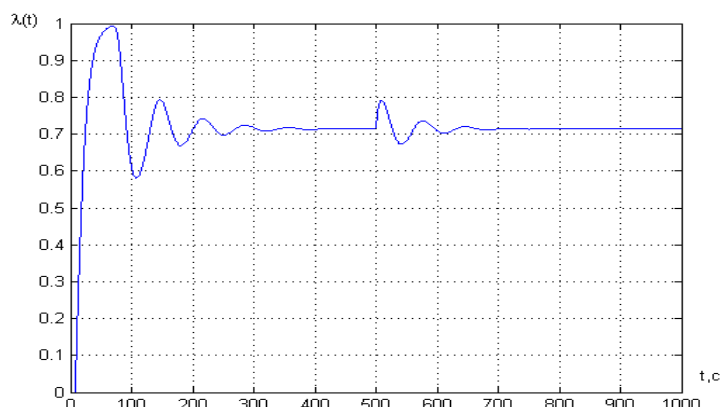


Рисунок 4 – График изменения коэффициента участия регуляторов

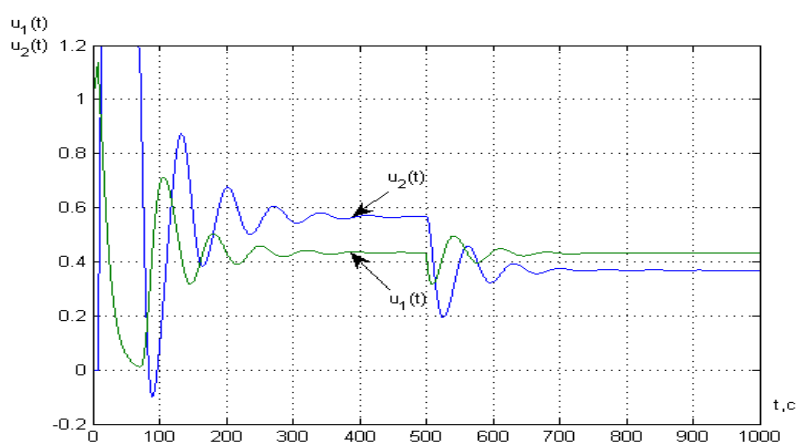


Рисунок 5 - Графики переходных процессов на выходе основного и дополнительного регуляторов

Таким образом, в АСР с двумя независимыми регуляторами управление одновременно двумя клапанами обеспечивает высокое быстродействие, практически отсутствие перерегулирования и колебательности, а также быстрое подавление возмущающих воздействий. Это делает ее пригодной для регулирования температуры перегретого пара на КСТК-35/40-100, а также дает возможность развивать данную схему и внедрять на других агрегатах.

Перечень ссылок

1. Котлы утилизаторы и котлы энерготехнологические. Отраслевой каталог / Под ред. Л.М. Фомичевой – М.: НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ, 1985. – 83 с.
2. Котел-утилизатор КСТК-35/40-100. Руководство по эксплуатации. – Белгород: Энергомаш. – 26 с.

УДК 621.317.7(076)

РАСЧЕТ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА

Авраменко В.В., магистр; Косарев Н.П., к.т.н., доц.*(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

В статье представлены обзор и определение основных характеристик намагничивающего элемента, необходимого для корректной работы системы.

Контроль будет проходить в следующем виде. Намагничивающий элемент обеспечивает постоянное магнитное насыщение каната. Индукция намагниченного каната изменяется в зависимости от диаметра и количества обрыва проводов. Значение индукции фиксируется МЧМС, что преобразовывает индукцию поля в соответствующее напряжение. Выходной сигнал преобразователя магнитного поля не значителен и составляет единицы мВ. Для дальнейшего использования, сигнал требует усиление. На кристалле МЧМС организован усилитель, что обеспечивает усиление сигнала до единиц В на выходе микросхемы.

Сигнал с измерительного элемента через мультиплексор поступает на УВХ, дальше при помощи АЦП преобразуется в соответствующий код, что передается в микропроцессорную систему. Микропроцессор обрабатывает сигнал и выводит результат на УОИ и ПК.

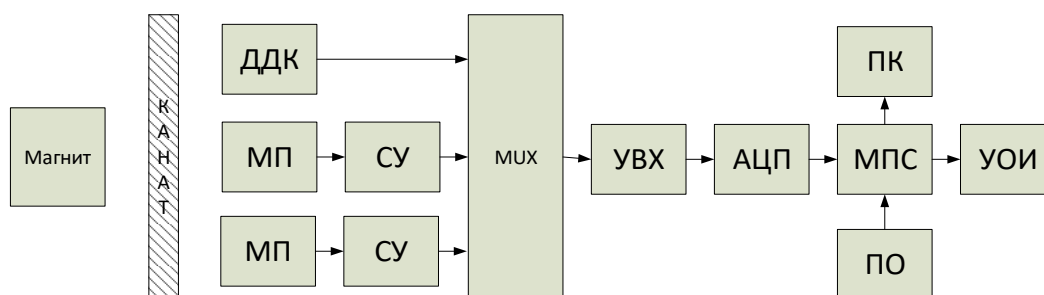


Рисунок 1 – структурная схема

МП – Магнитный преобразователь

СУ – Согласующий усилитель

УВХ – Устройство выборки-хранения

АЦП – Аналого-цифровой преобразователь

МПС – Микропроцессорная система

УОИ – Устройство отображения информации

ДДК – Датчик длины каната

ПО – специальное программное обеспечение

Для необходимого намагничивания контролируемой детали нужно правильно подобрать намагничивающий элемент.

В качестве намагничивающего элемента необходимо использовать постоянный магнит, так как, в отличие от электромагнита, он способен работать без дополнительного питания.

Постоянные магниты имеют три основных параметра, остаточная магнитная индукция B_r , которая определяет величину магнитного потока, коэрцитивная сила H_c , которая определяет магнитную напряженность и энергетическое произведение BH .

Чем выше остаточная индукция B_r , тем выше будет эффект, который намагничивает. Чем выше коэрцитивная сила H_c , тем выше радиус действия магнита. Редкоземельные магниты (неодимовые) являются лидером по этому показателю. Температура, при которой неодимовый магнит сохраняет свои заявленные характеристики, обычно не превышает 80°C . В особых случаях достигают температуры в 240°C .

Чем больше коэрцитивная сила и остаточная магнитная индукция, то есть чем больше магнитотвердым является материал, тем лучше он подходит в качестве постоянного магнита. К числу материалов, из которых изготавливают магниты, относят сплавы на основе Fe, Ni, Al, гексагональные ферриты и другие. Из современных, более эффективными материалами являются ферромагнитные интерметаллические соединения редкоземельных металлов Sm и Nd с Co (типа SmCo_5). Эти соединения имеют рекордно высокую величину максимальной магнитной энергии на единицу объема материала (BH_{max}).

Основные характеристики материалов для постоянных магнитов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные характеристики материалов для постоянных магнитов

Материал	H_c Э	B_r Гс	$(BH)_{\text{max}}$ 10^6 Гс·Э
Углеродистая сталь	50	10000	0,26
Кобальтовая сталь	240	9200	0,9
Сплав Fe – Ni – Al	480	6100	1,05
Бариевый гексагональный феррит	1800	2000	0,9
Сплав Pt – Co	4300	6500	9.5

Намагничивающие устройства магнитов в зависимости от назначения отличаются между собой конструкцией, размерами, конфигурацией зоны намагничивания и амплитудным значением индукции магнитного поля в этой зоне. Конструкции намагничивающих устройств определяются маркой используемых магнитов и формой изделий, в которых эти магниты используются. В общем, для каждого изделия и каждой марки магнита разрабатывается отдельное намагничивающее устройство. Для намагничивания устройств с магнитов из феррита бария, стронция или легированного редкоземельными металлами используется устройства, которые намагничивают, что позволяет получать поле с амплитудой магнитной индукции до 1 Тл в зоне намагничивания. Для намагничивания редкоземельных магнитов (РЗМ) соединения неодим-железо-бор и самарий-кобальт необходимы намагничивающие устройства с амплитудой индукции до 3Тл. В некоторых случаях, используя специальные режимы предварительной термообработки РЗМ, можно существенно понижать амплитуду магнитной индукции в зоне намагничивания. Это позволяет использовать для намагничивания РЗМ устройства, разработанные для намагничивания ферритов.

Приведем формулы для образцового расчета длины и площади нейтрального сечения постоянного магнита, которые используются для оптимизации размеров и формы магнита.

Для аналитического расчета необходимо определить величину сопротивлений отдельных участков системы на пути прохождения магнитного потока, в том числе и вблизи каната, где поток проходит через воздух:

$$R_m = R_{\text{ст}} + R_{\text{в}} \quad (1)$$

Где $R_{\text{ст}}$ – магнитное сопротивление участков стального магнитопровода, $1/\text{Гн}$; $R_{\text{в}}$ – сопротивление воздушного зазора, $1/\text{Гн}$.

В этом случае магнитное сопротивление участков стального магнитопровода и воздушного зазора можно записать соответственно:

$$R_{ст} = \frac{l}{\mu_c \cdot \delta_c \cdot S} \quad (2)$$

$$R_B = \frac{\Delta}{\mu_0 \cdot S} \quad (3)$$

Где l – суммарная длина участков стального магнитопровода, м; μ_c – относительная магнитная проницаемость стали; δ_c – относительная проводимость стали; μ_0 – магнитная постоянная; S – площадь поперечного сечения магнитопровода, м²; Δ – длина воздушного участка, м.

Магнитная индукция в рабочей зоне электромагнитной системы может определяться по эмпирической зависимости:

$$B_{\Delta} = K_p \frac{I \cdot w \cdot \mu_0 \cdot \mu_c}{\mu_c \cdot \Delta + l} \quad (4)$$

Где I – сила тока в электромагнитной катушке, А; w – количество витков провода в катушке; K_p – поправочный коэффициент, который учитывает насыщение магнитопровода.

Для упрощения расчета конструкции магнитной системы, которая изготавливается на основе магнитотвердых материалов, необходимо принять допущение, что магнитное сопротивление стального магнитопровода отсутствует, магнитное поле плоское параллельное, а поверхности, между которыми определяется проводимость, эквипотенциальные.

Принимаем, что рабочая зона не заполнена ферромагнитным порошком, а магнитный поток проходит по воздуху в зазоре. Тогда величины индукции и напряженности магнитного поля в рабочем зазоре определяются:

$$B_3 = K_3 \quad (5)$$

$$H_3 = \frac{B_3}{\mu_0} \quad (6)$$

Где K_3 – коэффициент, который учитывает соотношение величины индукции в середине и центре полюсных наконечников магнита, $K_3 = (1,05 \dots 1 \dots 1,1)$.

Длина L_M и площадь нейтрального сечения S_M постоянного магнита составляют основные расчетные величины:

$$L_M = \frac{H_3 \cdot f \cdot \delta}{H_d} \quad (7)$$

$$S_M = \frac{B_3 \cdot s_1 \cdot S_3}{B_d} \quad (8)$$

Где f – коэффициент, который учитывает изменение намагничивающей силы в магнитопроводе, стыках и зазорах ($f=1,1 \dots 1,4$); S_3 – площадь поперечного сечения рабочего зазора, м²; B_d и H_d – индукция и напряженность поля, которые отвечают точке (ВН) – максимума кривой размагничивания постоянного магнита; s_1 – коэффициент магнитного потока ($s_1=10 \dots 20 \dots 30$).

Проведен обзор основных характеристик постоянных магнитов. Представлены методы производства и материалы для изготовления магнитов. Приведены основные формулы для расчета необходимых параметров.

Перечень ссылок

1. Курбатов П.А. Аринчин С.А. Численный расчет электромагнитных полей. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.
2. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. Учебное пособие. – М.: высш. школа 1983 – 463 с.
3. Брынский Е.А. Электромагнитные поля в электрических машинах. – Л.: Энергия 1979. 176 с.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Анацкий П.Н., магистрант, Винниченко Н.Г., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

1. Обзор методов измерения температуры.

1.1 Контактные методы.

Контактные методы и средства измерения температуры применяются для её измерения, начиная с 0 до 1500 °С. При использовании термопреобразователей из тугоплавких материалов можно повысить предел измерений до 3000 °С. Из контактных методов наиболее известны термоэлектрический и терморезистивный методы. В список их достоинств можно отнести лёгкость изготовления, надёжность при применении, относительно низкую стоимость и большую точность измерения.

Кроме перечисленного на их основе можно создавать многоканальные измерительные системы. Их задачей будет непрерывное измерение температурного поля сложных объектов, в экстремальных условиях. [1, 2].

1.1.1 Терморезистивные термометры

Терморезистивные термометры принято разделять на металлические и полупроводниковые. Принцип их действия базируется на измерении электрического сопротивления при варьировании температуры [1].

Терморезисторы изготовлены из металла, который имеет более устойчивую зависимость электрического сопротивления от температуры. Помимо этого, они также имеют положительный температурный коэффициент сопротивления. Данный коэффициент колеблется в пределах температур 0 – 100°С. Для изготовления таких термометров принято использовать металлы с достаточной электрической проводимостью. Примером может послужить медь, никель или платина. Никель используют при температурах от -60 до 180 °С, медь от -50 до 200 °С, платину от -220 до 750 °С, а если они находятся в нейтральной атмосфере, то крайний предел – 1000°С [2]. Сопротивление платинового терморезистора в интервале от 0 до 650 °С можно найти по формуле:

$$R = R_0 * (1 + \alpha t + \beta t^2),$$

Где R_0 – сопротивление при 0 °С; t – температура в градусах Цельсия; α – температурный коэффициент сопротивления; $\beta = -5,847 * 10^{-7} K^{-2}$.

В диапазоне от 0 до -200 °С функция преобразования принимает следующий вид:

$$R = R_0[1 + \alpha t + \beta t^2 + C(t - 100)^3],$$

где $C = -4,22 * 10^{-12} 1/K$.

Металл для терморезистора принято выбирать из его химической активности по отношению к измеряемой среде в интересующем диапазоне измеряемых температур. Диапазон сопротивления медных проводников (от -50 до +180°С) выражается при помощи следующего соотношения [3]:

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

где $\alpha = 4,26 * 10^{-3} K^{-1}$.

Датчики, изготовленные из никеля, имеют высокую чувствительность в диапазоне 250-300 °С, а также имеет линейную характеристику в интервале $0 \leq t \leq 100$ °С.

Медные и никелевые термометры сопротивления производят из литого микропровода в стеклянной изоляции. Это позволяет быть ему более герметичным, что делает его менее подверженному коррозии. При этом они имеют высокую стабильность и при малых размерах имеют сопротивление до десятков кОм.

Сравнительно высокий температурный коэффициент сопротивления имеет W(вольфрам) $\alpha = 4,8 * 10^{-3} K^{-1}$ и Mo(молибден) $\alpha = 4,57 * 10^{-3} K^{-1}$, однако при $t \geq 400^{\circ}C$ их не применяют из-за сильного окисления и разрушения чувствительного элемента. Для низкотемпературных измерений используют фосфоритные бронзы [1, 3].

К достоинствам металлических терморезисторов можно отнести:

1. Высокую стабильность температурного коэффициента сопротивления.
2. Линейность зависимости сопротивления от температуры.
3. Хорошая воспроизводимость свойств.
4. Инертность к воздействиям окружающей среды.
5. Высокая точность измерений.

1.1.2 Термоэлектрический метод

Для конструирования термопары используют два разных проводника или полупроводника. Их концы закрепляют и нагревают до температуры, которая отличается от температуры иных концов. Из-за этого на так называемых «холодных» концах возникает термоэдс, формула для расчёта которого имеет вид:

$$E_t = f(t) - f(t_0),$$

где $f(t)$ – функция температуры t ; $f(t_0)$ – функция температуры t_0 .

Термопары используют для измерения температуры вещества в которых они находятся. Также в различных приборах и устройствах [3, 4].

К достоинствам термопар можно отнести:

1. Простота схем включения.
2. Надёжность.
3. Большие функциональные возможности.
4. Большой диапазон измерения температур.
5. Высокая точность измерения значения температуры.

Постоянная времени термопар находится в пределах от ≤ 40 секунд до $\leq 3,5$ минуты. Конструкцию термопары выбирают в зависимости от места где она будет использоваться. При конструировании того или иного термоэлектрического преобразователя в учёт принимают такие факторы, как агрегатное состояние вещества, температуру, диапазон измеряемых температур, тепловая проницаемость и другие [1-3].

1.1.3 Термомагнитный метод

За основу данного метода взята обратно – пропорциональная зависимость магнитной восприимчивости парамагнитных веществ или ядерной магнитной восприимчивости от температуры. В качестве чувствительного элемента выступают металлы и соли. Данные преобразователи применяют для измерения очень низких температур от 0,01 до 30 К с относительно малой погрешностью от 1 до 5%. Для измерения температуры данным методом используют зависимость различных видов магнитных проницаемостей ферромагнетиков от температуры. Достоинством данного метода является отсутствие систематической погрешности и высокой чувствительности [2].

1.1.4 Термочастотный метод

Метод основан на зависимости от температуры частоты собственных колебаний различного рода резонаторов, скорости распространения звуковых и ультразвуковых колебаний и параметров, частотно-зависимых RC или RL – цепей с терморезистором. Из литературных источников известно, что резонансные термочастотные методы основаны на использовании резонансных датчиков. Они являются автогенераторами или же генераторами с вынужденными колебаниями, частота которых настраивается в резонанс с собственными колебаниями резонатора и изменяются с температурой. Твердотельные, газовые и ядерные резонаторы применяются для измерения температуры. Функция преобразования термометров с резонансными преобразователями на рабочем участке характеристики в виде полинома [3]:

$$f = f_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3],$$

где α, β и γ – коэффициенты, которые выбираются в зависимости от вида и характеристик резонаторов.

1.1.5 Термошумовой метод

При помощи данного метода, который основан на уравнение Найквиста происходит измерение температуры. Данное уравнение устанавливает зависимость напряжения тепловых шумов, возникающих на резисторе, от термодинамической температуры

$$U_{ш2} = 4 * k * T * R * \Delta f,$$

где $U_{ш2}$ – среднее квадратичное значение шумового напряжения; k – постоянная Больцмана, $k = 1.38 * 10^{-23}$ Дж/К; Δf – полоса частот измерения.

Этот метод используют для измерения температур в диапазоне от 0,01 до 2500 К. Для того что бы качество измерительных преобразователей было высоким применяются резисторы из манганина, константана, вольфрама, графита, платины, никрома, а также ёмкостные и индуктивные преобразователи. Они представляют из себя резонансный колебательный контур. Источником теплового шума в преобразователях из вольфрама (W) и графита служит их сопротивление среды, температура которой измеряется.

2.1 Бесконтактные методы измерения температуры

2.1.1 Пирометрический метод

Данный метод основан на законах, которые устанавливают связь между излучением абсолютно чёрного тела (АЧТ) и его температурой. В зависимости от входной величины пирометры их делят на пирометры полного, спектрального и частичного излучения. К пирометрам полного излучения относятся радиационные пирометры, к пирометрам спектрального отношения относятся цветковые пирометры, а к пирометрам частичного яркостные пирометры. Они охватывают большой диапазон температур от 173 до 6000 К [2, 3].

Оптические пирометры чувствительны только в узком интервале длин волн.

Излучение объекта, который измеряется определяется непосредственно приёмником излучения. Наибольшую популярность приобрели пирометры с исчезающей нитью накаливания. Их отличием является простота применения, а также высокая точность измерений.

Недостатком, который ограничивает применение данных приборов, является их субъективность получаемого результата. Такой недостаток отсутствует в оптических пирометрах с объективным приёмником излучения, например, с чувствительным селективным фотоэлектрическим элементом [4].

2.1.2 Тепловидение и термография

Приборы, которые используют для наблюдения и исследования объектов по их тепловому излучению называются тепловизорами, термографами или телевизионными микроскопами. Телевизионные приёмные трубки – видиконы с фоторезистивным слоем из пленки оксида свинца чувствительны к излучению до 2 мкм. Телекамеры с видиконами могут определять температурное поле при $T \geq 250$ °С. Для того что бы термография и тепловидения в низком диапазоне температур развивалась, были созданы чувствительные приёмники инфракрасного излучения, спектральная чувствительность которых заходит далеко в инфракрасную область спектра. Применение в качестве приёмников излучения пироэлектрических элементов даёт возможность получать видимое изображение температурного поля объектов с температурой от -20 до 2000 °С. В серийно выпускаемых тепловизорах и термографах применяются дискретные приёмники инфракрасного излучения и оптико-механические системы развёртки изображения при помощи или колеблющихся зеркал, или призм. Порог чувствительности тепловизора определяется разностью температур ΔT_{min} на поверхности АЧТ ($\epsilon = 1$) с $T = 25$ °С, при которой отношения сигнала к собственным шумам тепловизора равно 1. Данные методы используют при геологических и климатологических исследованиях земной поверхности, в медицине, а так же в строительстве при проверке теплоизоляции зданий, в энергетике для обнаружения мест

перегрева в энергетическом оборудовании, и измерения механических напряжений и деформаций методом термоупругости [3].

2.1.3 Электромагнитные методы и преобразователи

Основу вихретокового контроля составляет закон электромагнитной индукции, в соответствии с которым интенсивность и распределение возбуждаемых в объекте контроля вихревых токов зависят от его геометрических и электромагнитных параметров. Переменный ток, действующий в катушках вихретоковых преобразователей (ВТП), создаёт электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте контроля.

С целью установления связи входящих сигналов от параметров контролируемых изделий следует решить краевые задачи электродинамики согласно расчёту электрических и магнитных полей, для разнообразных ВТП и контролируемых изделий. Для упрощения решений задач такого рода установлен ряд общепризнанных допущений, с учётом которых необходимо найти решения уравнения Максвелла с граничными условиями для принятых расчётных моделей преобразователей и объектов контроля, установить векторные потенциалы и вносимые характеристики разных видов преобразователей. Концепция вихретокового контроля довольно хорошо разработана и освещена в многочисленных работах [1].

Следует отметить, то что на сегодняшний день электромагнитные методы и устройства, выстроены в этом методе, слабо используются при измерении температуры среды и изделий. Основным условием, сдерживающим данные методы и средства, являются довольно непростые связи сигнала преобразователя от температуры. В основном данные методы и устройства применяются с целью оценки свойства и определения оптимальных режимов тепловой обработки в научно-технических процессах[2,4].

3 Выводы

Исходя из всех известных методов измерения температуры можно сказать, что к достоинству контактных методов измерения можно отнести их широкий диапазон температур, надёжность, простоту, а также их низкую ценовую категорию. Их основной характерной чертой является то, что они преобразуют в сигнал измерительную информацию термометрического свойства термопреобразователя, а не объекта исследования.

Бесконтактные преобразователи имеют такие же достоинства, как и контактные устройства, еще присутствует возможность измерения температуры вдали от нагреваемого или охлаждаемого объекта исследования.

Главным преимуществом оптических пирометров является бесконтактность контроля температуры, но при этом есть и большое количество недостатков.

Перечень ссылок

1. Левшина Е.С., Невицкий П.В. Электрические измерения неэлектрических величин. Измерительные преобразователи: Учеб. Пособие для вузов. –Л.:Энергоатомиздат,1983. – 320 с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред В.В. Клюева. –М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.
3. Спектатор С.А. Электрические измерение физических величин. – Л.:Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.
4. Измерение в промышленности. Справ,изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. П. Профоса. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Металлургия, 1990. – 92 с, 384 с, 34

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОКСИМЕТРА

Афонина У.В., студ.; Хламов М.Г., проф, к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В основу планирования математического эксперимента для определения показателей точности оксиметра положен многофакторный эксперимент, в котором при переходе от опыта к опыту одновременно меняются все исходные величины.

Планирование эксперимента позволяет уменьшить число опытов и повысить точность коэффициентов уравнения регрессии, которое получено при обработке результатов.

Для определения показателей точности оксиметра при определении парциального давления артериальной крови необходимо провести следующие эксперименты:

- определить влияние неинформативных параметров на величину полезного сигнала и определить значения этих параметров при максимальной величине полезного сигнала;
- исследовать влияние неинформативных параметров на погрешность оксиметра;
- определить оценки метрологических параметров оксиметра.

Примем первый фактор как сатурацию S_a , обозначим его x_1 . Вторым фактором будет уровень рН пробы x_2 , третьим фактором – температура пробы T x_3 . Предыдущими экспериментами установлено целесообразность проведения эксперимента при сатурации $S_a=(77.5-97.5)\%$, уровне рН-пробы $pH=(7.2-7.6)$, температуре $T=(35-40)^\circ C$.

$$x_1=(77.5-97.5)\%; \quad x_2=(7.2-7.6); \quad x_3=(35-40)^\circ C.$$

С учётом этого принимаем следующие уровни факторов:

$$x_{1н}=77.5\%; \quad x_{1в}=97.5\%;$$

$$x_{2н}=7.2; \quad x_{2в}=7.6;$$

$$x_{3н}=35^\circ C; \quad x_{3в}=40^\circ C.$$

Тогда нулевые уровни:

$$x_{1,0}=87.5\%; \quad x_{2,0}=7.4; \quad x_{3,0}=37.5^\circ C.$$

Кодированные значения нижних и верхних факторов будут соответствовать -1 и +1. Все возможные комбинации при варьировании факторов на двух уровнях определяются четырьмя опытами.

Увеличение числа факторов значительно усложняет задачу. Существует несколько приёмов построения матрицы. Рассмотрим один из наиболее распространённых – приём чередования знаков.

Суть его в том, что элементарное сочетание первого фактора (-1; +1) повторяется для каждого следующего на нижнем и верхнем уровнях. При этом в первом столбце знаки чередуются через один, во втором – через два, в третьем – через четыре и т.д. Построение матрицы таким образом от двух и трёх факторов (ПФЭ 2^2 , 2^3) приведены в таблице 1.

Математическая модель реализуется при помощи определения входного потока фотоприёмника (поток, попавший в окно фотоприёмника) и фототока для каждого светодиода. При расчёте величины оптического потока сделана коррекция с учетом температуры и уровня рН крови.

Далее информационный сигнал попадает в измерительную систему, настроенную на весь диапазон изменения измеряемого параметра. В первую очередь происходит преобразование фототока в информационный сигнал в виде напряжения, которое усиливается и нормируется на диапазон изменения информационного сигнала в пределах от 0 до 5 В отдельно для сигналов с каждого светодиода.

Таблица 1 – Матрицы для двух и трёх факторов (ПФЭ 2^2 , 2^3)

	Номер опыта	Факторы		
		x ₁	x ₂	x ₃
ПФЭ 2^2	1	-1	-1	-1
	2	+1	-1	-1
	3	-1	+1	-1
	4	+1	+1	-1
ПФЭ 2^3	5	-1	-1	+1
	6	+1	-1	+1
	7	-1	+1	+1
	8	+1	+1	+1

Математическая модель реализует определение результата измерения с учётом трёх составляющих: непосредственно определяемого парциального давления, а также факторов, влияющих на содержание оксигемоглобина в крови – температуры и уровня рН крови человека. На многоканальный АЦП одновременно попадает сигнал, содержащий информацию об отраженном световом потоке, и сигналы измерения температуры и уровня рН.

С основного канала измерения парциального давления поступают два оптических сигнала, преобразующиеся в коды. Парциальное давление зависит от соотношения этих кодов:

$$KOD_{\text{вхопц}} := \frac{KOD101_q}{KOD102_q}$$

$$AA := \begin{pmatrix} 3063.149707631 \\ 9.629095012 \times 10^4 \\ -1.136472968 \times 10^6 \\ 8.516295628 \times 10^6 \\ -3.75014747 \times 10^7 \\ 9.88397908 \times 10^7 \\ -1.57605417 \times 10^8 \\ 1.488145634 \times 10^8 \\ -7.651998317 \times 10^7 \\ 1.650835288 \times 10^7 \end{pmatrix}$$

$$CO2mod_q := \sum_{k=0}^m AA_k \cdot (KOD_{вхотц_q})^k$$

$$PO2_{ммрт.ст.}_q := \frac{CO2mod_q \cdot 75}{10000}$$

Зависимость парциального давления от кодового соотношения представлена на рисунке 1.

Со второго канала поступает сигнал с показателями температуры, которые в АЦП преобразуются в коды. Зависимость температуры от кода представлена формулой:

$$AAT := \begin{pmatrix} 35.000311 \\ 0.004901 \\ -4.859905 \times 10^{-8} \\ 3.486614 \times 10^{-11} \end{pmatrix}$$

$$tmod := \sum_{q=0}^m AAT_q \cdot KOD10^q$$

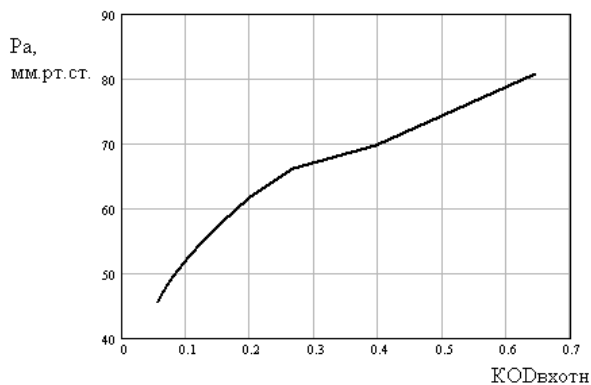


Рисунок 1 – Зависимость парциального давления от кодового соотношения кодов АЦП

Третий канал измерения водородного показателя рН также имеет на выходе два оптических сигнала на разных волнах диапазона. Поэтому, как и в основном канале, рН определяется с учётом соотношения кодов каждого сигнала:

$$AA := \begin{pmatrix} 8.495745 \\ -9.072696 \\ 43.974668 \\ -182.199442 \\ 506.725989 \\ -885.251706 \\ 924.725403 \\ -525.537306 \\ 124.639389 \end{pmatrix} \quad pH_{mod} := \sum_{k=0}^m AA_k \cdot (KOD_{вх0п})^k$$

При помощи полученных на выходе АЦП десятичных кодов выполняется расчёт значений результатов измерений, а именно: парциального давления, температуры и уровня водородного показателя рН.

Для определения сатурации артериальной крови кислородом выражаем её через парциальное давление и температуру. Вычисления приведены в символах Mathcad 2000.

$$S_{aизм}(PO_2, t) := \left[\sum_{i=0}^{m1} PO_2^i \cdot \left(\sum_{j=0}^{m2} AA_{AtC_{i,j}} \cdot t_{mod}^j \right) \right]$$

где AAAtC – двумерный массив коэффициентов, tmod – измеренная температура, PO2 – полученное парциальное давление.

Для учёта влияния уровня рН вводим дополнительную коррекцию:

$$a := 0.25 \quad c := 30 \quad b := 972 \quad a1 := 0.192 \quad c1 := 110 \quad b1 := 0.0076$$

$$\Delta S_{aкор} := \begin{cases} \Delta S_{aкор} \leftarrow \left[(pH_{mod} - 7.4) \cdot c + (S_{aод1} - 75) \cdot a + \frac{b}{S_{aод1} \cdot (42 - t_{mod})} \right] \cdot \frac{(7.4 - pH_{mod})}{0.1} & \text{if } pH_{mod} < 7.40 \\ \Delta S_{aкор} \leftarrow \left[(pH_{mod} - 7.4) \cdot c1 - (S_{aод1} - 75) \cdot a1 - b1 \cdot S_{aод1} \cdot (t_{mod} - 30) \right] \cdot \frac{(pH_{mod} - 7.4)}{0.1} & \text{otherwise} \\ \Delta S_{aкор} & \end{cases}$$

$$S_{aод} := S_{aод1} + \Delta S_{aкор}$$

где S_{aод} – искомая сатурация с учётом обоих влияющих факторов.

В результате проведенного моделирования можно сделать оценку погрешности полученной математической модели расчёта результата измерения. Зависимость погрешности измерения от сатурации, температуры и уровня рН представлена в таблице 2. Математическое ожидание приведенной погрешности математической модели δ_{мм}=2.9%.

Таблица 2 – Зависимость погрешности измерения от сатурации, температуры и уровня рН

Истинная сатурация	/рН	T=36°C	T=37.5°C	T=39°C
S _a a=80%	.3	S _{авим} =84.258% δ=-5.323%	S _{авим} =83.18% δ=-3.98%	S _{авим} =8 0.9%

				$\delta=-1.126$ %
	.4	Савим=79.379% $\delta=0.766\%$	Савим=80.331% $\delta=-0.413\%$	Савим=7 9.698% $\delta=0.378$ %
	.5	Савим=80.309% $\delta=-0.387\%$	Савим=80.253% $\delta=-0.317\%$	Савим=7 9.997% $\delta=0.0042$ %
Sa=87.5%	.3	Савим=88.536% $\delta=-1.184\%$	Савим=87.499% $\delta=0.001\%$	Савим=8 6.029% $\delta=1.68\%$
	.4	Савим=88.263% $\delta=-0.872\%$	Савим=87.45% $\delta=0.0567\%$	Савим=8 6.255% $\delta=1.423$ %
	.5	Савим=89.314% $\delta=-2.073\%$	Савим=88.436% $\delta=-1.07\%$	Савим=8 6.567% $\delta=1.066$ %
Sa=90%	.3	Савим=89.994% $\delta=0.0069\%$	Савим=89.376% $\delta=0.693\%$	Савим=8 7.877% $\delta=2.36\%$
	.4	Савим=90.237% $\delta=-0.264\%$	Савим=89.555% $\delta=0.495\%$	Савим=8 8.898% $\delta=1.225$ %
	.5	Савим=91.739% $\delta=-1.933\%$	Савим=90.285% $\delta=-0.316\%$	Савим=8 8.381% $\delta=1.8$

Алгоритм пересчёта сатурации в значение артериального давления базируется на зависимости сатурации от парциального давления[1]. С учетом температуры и уровня рН получено:

$T_0 := 43$ $pH_0 := 7.20$ $a := 0.052$ $b := 0.0874$ $c := 0.397$

$$pO_2 \text{ paschT pH}(so_2m, pH, T) := pO_2 \text{ paschT} 43 \text{ pH} 7.20(so_2m) \cdot \left[e^{-a(T_0 - T)} \right] \cdot \left[b^{c(pH - pH_0)} \right]$$

Зависимость парциального давления от насыщенности при переменных температуре и уровне рН представлена на рисунке 2:

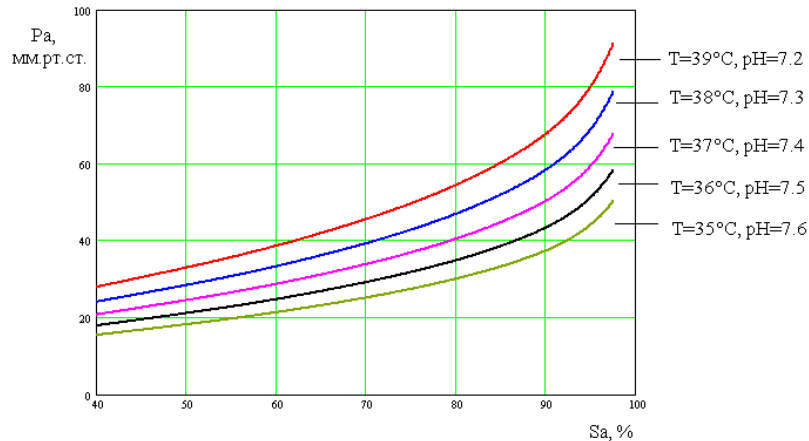


Рисунок 2 – Зависимость парциального давления от насыщенности при переменных температуре и уровне рН

Разработано планирование эксперимента для определения показателей точности оксиметра, определены входные параметры математической модели, получен полином, по которому производится расчёт парциального давления, температуры и рН, температура и уровень рН являются существенными влияющими факторами, поэтому были введены два дополнительных канала для их учёта, разработана математическая модель, при помощи которой рассчитываются результаты измерения, получена зависимость погрешности измерения от насыщенности, температуры и уровня рН, разработан алгоритм пересчёта единиц измерения из значений насыщенности в значения парциального давления, произведена оценка точности разработанной математической модели.

Перечень ссылок

1. Тучин В.В. Оптическая биомедицинская диагностика. – Саратов: Саратовский государственный университет, кафедра оптики и биомедицинской физики, 2005 – 2 с.
2. Литвинова О.В. Кваліфікаційна робота магістра - Обґрунтування структурної схеми приладу оперативного визначення вмісту кисню в крові - Донецьк: ДонНТУ, 2006, - С.
3. Стерлинг Дональд Дж. Волоконная оптика – М.: Лори, 1998 – 87 с.

ЭЛЕКТРОННЫЙ БРАСЛЕТ ДЛЯ ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ

Евтушок О.С., студ.; Рябощук Н.М., студ.; Мурзин Д.Г., доц., к.т.н.

(ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь, Российская Федерация)

Введение. Проблемы оказания своевременной медицинской помощи, обеспечения более комфортной среды проживания пожилым людям и лицам с ограниченными возможностями принадлежат к числу наиболее важных и актуальных в современном обществе. Ситуация несвоевременного оказания первой медицинской помощи лицам таких категорий возникает, зачастую, из-за того, что они не могут вовремя сообщить о своем состоянии (обморок, высокое артериальное давление и т.д.) родственникам или в медучреждение.

В настоящее время современные коммуникационные технологии представляют большие перспективы для расширения возможностей системы здравоохранения, улучшения диагностики и мониторинга, а также обеспечения максимальной независимости пожилых людей в современном обществе. Так, например, применение носимых датчиков получения биоинформации, датчиков внешней среды позволяет обеспечить функции мониторинга и контроля физиологических параметров у таких людей [1]. Применение современных коммуникационных технологий (в том числе Интернет) позволяет передавать данные о физиологических параметрах пациента, о возникновении критических ситуаций и др. на различные приложения, такие как мобильный телефон, медицинский центр.

Таким образом, построение «умной» среды, на основе современных технологий, позволит обеспечить пожилым людям и людям с ограниченными возможностями, дополнительные возможности управления своим окружением и контроля физиологических параметров.

Основная часть. Современное распространение смартфонов, использование мобильного интернета значительно упростили разработку устройств, основанных на применении переносимых датчиков, которые обеспечивают сбор физиологических данных и данных о движении в режиме реального времени. Общая структура подобной системы для удаленного мониторинга основных жизненно важных функций показана на рисунке 2. Датчики, расположенные на человеке, используются для сбора физиологических данных и данных о движении. Мониторинг показателей жизнедеятельности может включать частоту сердечных сокращений, частоту дыхания, пульса и др. Беспроводная связь основана на передаче данных от датчиков через систему связи мобильного телефона (смартфона) или точку доступа в удаленный центр через Интернет [2].

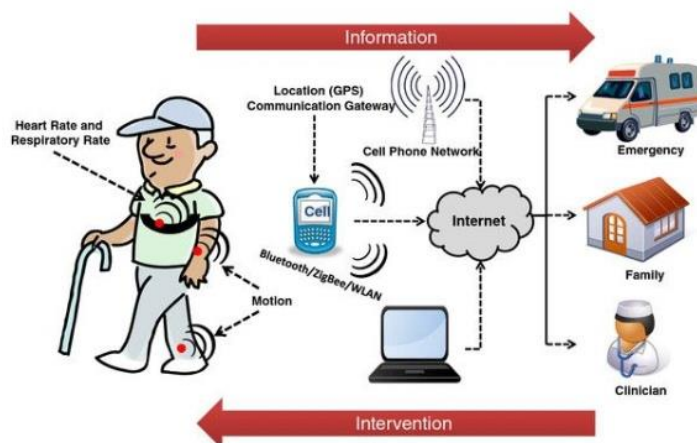


Рисунок 1 – Схема связи

Для решения проблемы своевременного оказания медицинской помощи, был разработан наручный smart браслет (медицинский браслет) для пожилых людей и людей с ограниченными возможностями, позволяющий обеспечить быстрое реагирование на плохое самочувствие, отслеживать местоположение носителя и осуществлять мониторинг основных физиологических параметров, таких как артериальное давление, пульс, свободное падение, подсчет количества шагов и другие функции [3].

Функциональная схема данного браслета состоит из устройства управления, пульсометра, отслеживание местоположения, устройство мониторинга, шагомер, тревожная кнопка, модуль беспроводной зарядки и модуль обеспечения беспроводной связи приведена на рисунке 2.

Исходя из выше сказанного опишем алгоритм работы устройства. При первых серьезных признаках недомогания (низкое/высокое артериальное давление, пульс, головокружение и т.д.) пользователь может нажать на тревожную кнопку. Система получает сигнал о том, что необходимо сформировать сообщение о состоянии здоровья пациента.

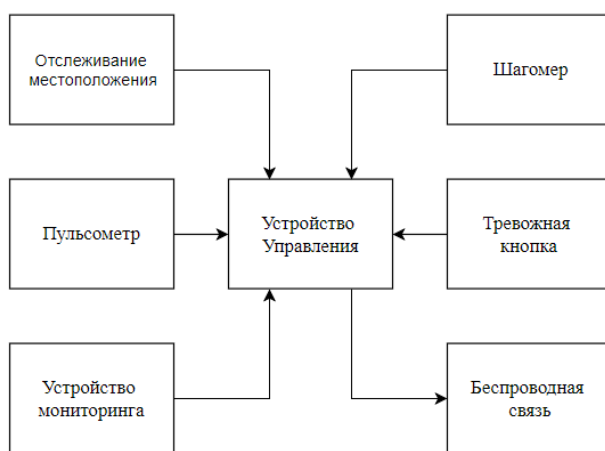


Рисунок 2 – Функциональная схема

Далее происходит считывание данных с датчиков (пульс, местоположение) и составляется сообщение, которые затем отправляются на заранее установленные контакты, а также, если значения превышают допустимую норму, происходит автонабор номера скорой помощи на смартфоне. Шаблон присылаемого сообщения при нажатии кнопки показан на рисунке 3.

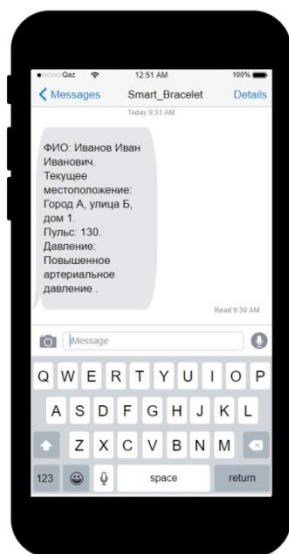


Рисунок 3 – Шаблон присылаемого сообщения при нажатии кнопки

Также браслет имеет ряд дополнительных функций, которые помогают пожилым людям и людям с ограниченными возможностями следить за состоянием своего здоровья:

- будильник для приема лекарств, который поможет своевременно принять медицинские препараты, с помощью уведомления на браслете и звукового сигнала;
- шагомер, для подсчета количества шагов;
- умный будильник, отслеживает фазы сна;
- мониторинг активности.

Для удобства, данное устройство можно связать со смартфоном, чтобы близкие люди и родственники всегда смогли проследить за состоянием здоровья носителя данного устройства [4]. Интерфейс приложения представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Интерфейс приложения

Данное приложение имеет простой и доступный интерфейс. С помощью него можно легко настроить, а также изменить свои личные данные, будильник для приема лекарств, режим сна, а также просмотр своей статистики. Важной особенностью интерфейса являются простые, большие, контрастные иконки и шрифт, позволяющие людям с ограниченными возможностями, а также пожилым людям быстро разобраться в нем.

Заключение. Современные электронные и телекоммуникационные технологии позволяют построить более комфортную среду для пожилых людей и лиц с ограниченными возможностями. В работе представлен медицинский браслет — персональное устройство помощи для пожилого человека и лиц с ограниченными возможностями в экстренных ситуациях, а также отслеживания их жизнедеятельности. Совместно со смартфоном и использованием мобильного интернета данное устройство позволяет при первых серьезных признаках недомогания известить близких людей, родственников, вызвать скорую помощь, нажав при этом одну кнопку, что минимизирует количество затраченного времени.

Перечень ссылок

1. Обзор носимых датчиков. – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3354997/> / (дата обращения: 06.03.2019).
2. Обзор носимых сенсорных систем для мониторинга здоровья – Режим доступа: <http://www.etc.sipfw.edu/~luo/cpet565/readings/survey-health.pdf> / (дата обращения: 08.03.2019).
3. Сенсорные инновации для улучшения качества медицинского обслуживания. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2015/may/making-the-world-healthier-and-safer-through-sensor-innovation> / (дата обращения: 24.03.2019).
4. Умная техника. – Режим обращения: <http://www.ubicomp.org/ubicomp2013/adjunct/adjunct/p425.pdf> / (дата обращения: 03.04.2019).

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ВЛИЯНИЯ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

Иванилов В.В., студ., Хламов М.Г. проф., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г.Донецк, ДНР)

Значение воды невозможно переоценить в жизни всего живого на Земле. Являясь преобладающим элементом в составе любого организма, вода руководит и его жизнедеятельностью. В настоящее время экологическая проблема загрязнения водных объектов является наиболее актуальной. Качественное и количественное определение состава загрязнений в стоках необходимо не только для выбора технологии их очистки, но и для соблюдения норм сброса очищенных сточных вод в водоемы.

Нефтепродукты (НП) представляют собой смеси углеводородов и индивидуальные химические соединения, получаемые и являющиеся продуктами перегонки нефти (нефтяных газов) в результате химических процессов. К нефтепродуктам относят различные виды топлива (бензин, дизельное топливо, керосин и др.). Смазочные материалы, растворители, нефтехимическое сырье и т.д. В основном нефть состоит из парафиновых углеводородов (от 25 до 30%) и нафтеновых (от 15 до 85%), мало занимают соединения ароматического ряда (от 10 до 20%) и смешанного (гибридного) состава. Нефть растворима в органических растворителях, в воде при обычных условиях практически нерастворима, но может образовывать с ней стойкие эмульсии.

Задачей же является определение нефтепродуктов в сточных водах. Используем метод инфракрасной – спектрометрии. Основная идея разрабатываемого прибора, оптоэлектронный преобразователь, где оптическое излучение взаимодействует с НП, формируется аналитический сигнал, представляя спектр излучения.

В ходе работы была проведена проверка влияющих факторов и выявлена проблема определения концентрации нефтепродуктов с малой концентрацией. Заключается она в том, что при моделировании параметра объекта контроля возникает неоднозначность количественных оценок содержания нефтепродуктов, обусловленных вариациями состава нефтепродуктов и все это без учета влияющих факторов. Для получения точного значения концентрации измеряемой вещества необходимо учитывать эти влияющие факторы и по возможности уменьшить их или совсем исключить.

Это является активный эксперимент, который заключается в активном вмешательстве в течение процесса заранее выбранным планом. План эксперимента предусматривает условия и количество проведения опытов и определяет точность полученной математической модели.

Различают полные факторные эксперименты (ПФЭ) и дробные факторные эксперименты (ДФЭ).

Полный факторный эксперимент (ПФЭ) используется когда все независимые переменные варьируются на всех избранных уровнях. Уровнем фактора называется его значение, фиксируется в эксперименте. Количество опытов при ПФЭ рассчитывается как:

$$N = k^n,$$

где k – количество уровней;

n – количество факторов.

Дробный факторный эксперимент (ДФЭ) представляет собой дробные реплики полно факторного эксперимента, то есть когда наблюдения проводятся в некоторых вершинах N -мерного гиперкуба. В случае разработки алгоритма влияния одного из влияющих факторов используется ПФЭ, а когда меняться будут оба фактора одновременно - ДФЭ.

Если обратиться к выбранному методу измерения, то можно отметить, что исследуемую пробу необходимо подготовить к проведению измерения, то есть добавить соответствующий реагент. С добавлением реагента меняется водный показатель пробы pH , а вместе с этим может измениться и температура. Для проведения измерения необходимо поддерживать эти показатели в норме для более точного результата. Таким образом, в качестве влияющих факторов выступают водный показатель pH , температура и состав исследуемой пробы. Так же влиянию подвержена сама проба. Рассмотрим влияние этих факторов на проведение измерения.

Влияние pH раствора на окрашенные комплексы выражается в различных формах, в большинстве случаев оно сводится к изменению состава окрашенного соединения. Изменение pH среды способствует образованию окрашенных комплексов с посторонними ионами, присутствующими в растворе, обуславливает изменение растворимости окрашенных соединений, влияет на состояние окислительно-восстановительной взаимодействия и может вызвать даже полное разрушение окрашенных соединений.

Согласно методике проведения измерения нефтепродуктов в сточных водах в качестве реагента используется четыреххлористый углерод. Реагент относится к сильным кислотам, анионы которых (Cl^- , I^- , SCN^- и др.) даже при очень высокой концентрации H^+ в растворе не связываются ими в молекулы кислоты, из-за чего концентрация анионов в растворе меняется незначительно. Однако повышение кислотности раствора не приводит к разрушению окрашенного соединения, образованное анионами сильной кислоты, так протоноонизации реагента протекает в незначительной степени и условная константность устойчивости комплекса MR_n практически остается без изменений. На рисунке 1 изображено влияние показателя pH на степень окраски раствора:

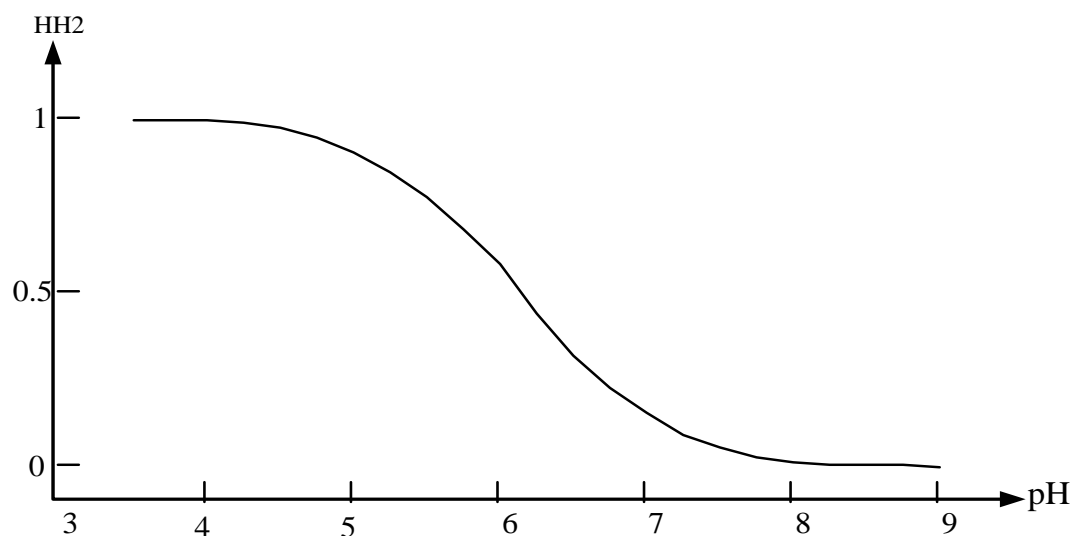


Рисунок 1 - Влияние pH на степень окраски

Для определения зависимости коэффициента поглощения от pH в диапазоне pH от 3,5 до 9 при концентрации нефтепродуктов 1 мг/литр используем метод наименьших квадратов (МНК). Полученные коэффициенты введем в настроенные системы измерения НП. После соответствующей настройки всех ее компонентов получим набор двоичных кодовых комбинаций АЦП для каждого значения и их отклонения. Для данной функции достаточно 7-й степени аппроксимации, которая обеспечивает погрешность описание $\delta = 2,312\%$:

$$pH = 3.5, 3.6..9$$

$$hh(ph) = \sum_{k=0}^m A_k \cdot pH$$

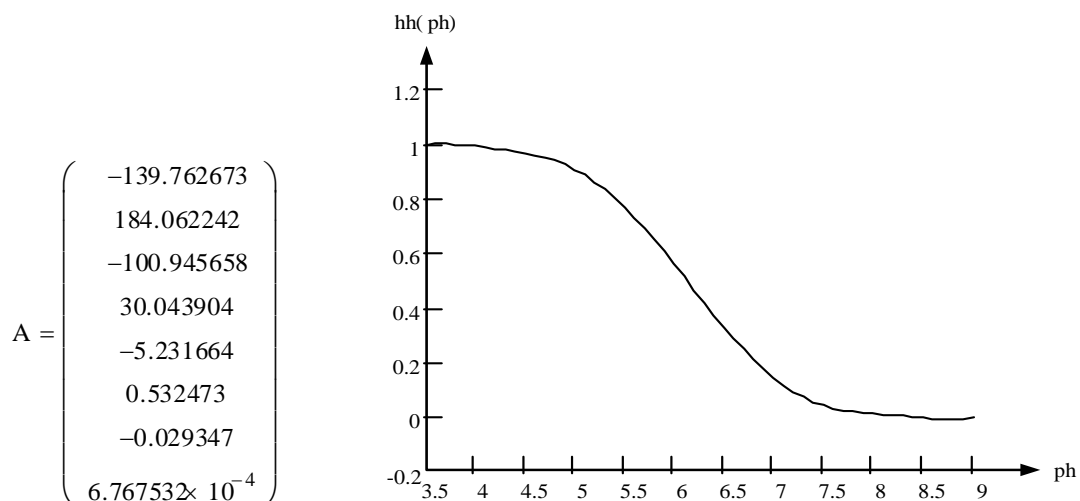


Рисунок 2 - Влияние pH на поглощение излучения НП в инфракрасной области

Сравним рассчитанные значения концентрации с начальными и определим показатели точности, варьируя степень полинома.

m	δ_{max}
4	0.23422595
5	0.1815208
6	0.16894849
7	0.18993056

Как видно из приведенных результатов, наименьшую погрешность дает 6 степень.

На рисунке 3 изображено влияние измеренных значений pH на измерения НП ($pH = 4 \dots 7$).

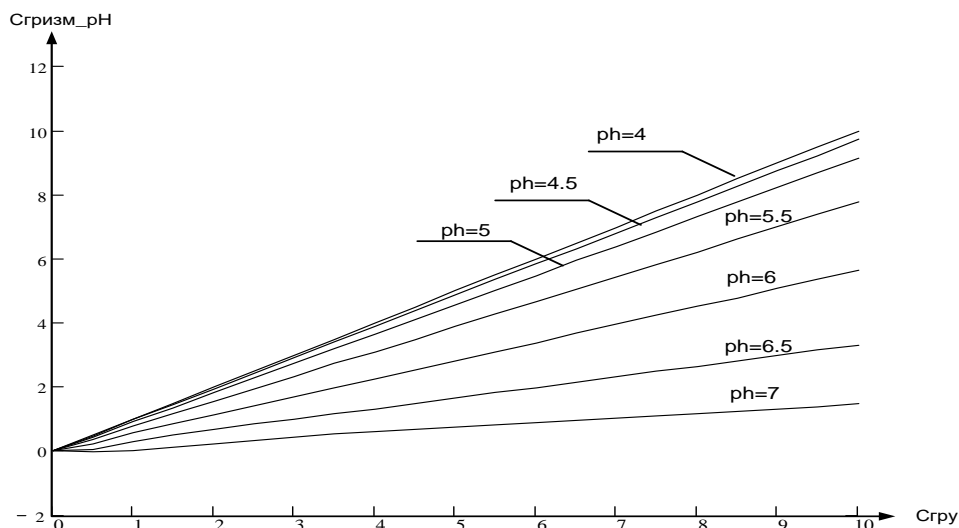


Рисунок 3 - Влияние pH на измерение концентрации НП

Измерения нефтепродуктов в сточных водах требует постоянства температуры и pH пробы. Рассмотрим влияние температуры на поглощение нефтепродуктов в инфракрасной области.

Согласно методике проведения измерения оптимальная температура пробы для измерения составляет 20°C . Диапазон изменения температуры пусть составляет от 10°C до

30°C. Получим следующую зависимость поглощения от температуры, приведена на рисунке 4:

$$t = 10, 10.1 \dots 30, \quad t_0 = 20, \quad \sigma t = 20, \quad ee(t) = e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma t^2}}$$

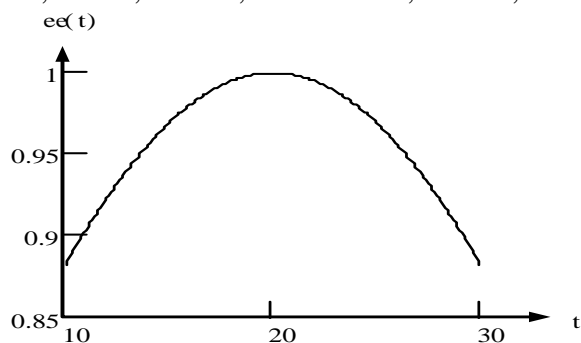


Рисунок 4 - Зависимость поглощения от температуры

Где t_0 – номинальная температура, °C;

t – диапазон температур, °C;

$ee(t)$ – относительное изменение параметров сигнала при фотометрических измерениях, что обусловлено изменением температуры.

Соединим зависимости pH и температуры и получим их влияние на поглощение излучения, изображенное на рисунке 5:

$$D(\lambda, C\Sigma, t, ph) = \varepsilon_{00}(\lambda) \cdot C\Sigma \cdot hh(ph) \cdot ee(t) \cdot l_{\bar{0}}$$

$$ТОК(\lambda, C\Sigma, t, ph) = 10^{-D(\lambda, C\Sigma, t, ph)}$$

Где $l_{\bar{0}}$ – длина оптического пути;

$D(\lambda, C\Sigma, t, ph)$ – оптическая плотность;

$ТОК(\lambda, C\Sigma, t, ph)$ – коэффициент пропускания.

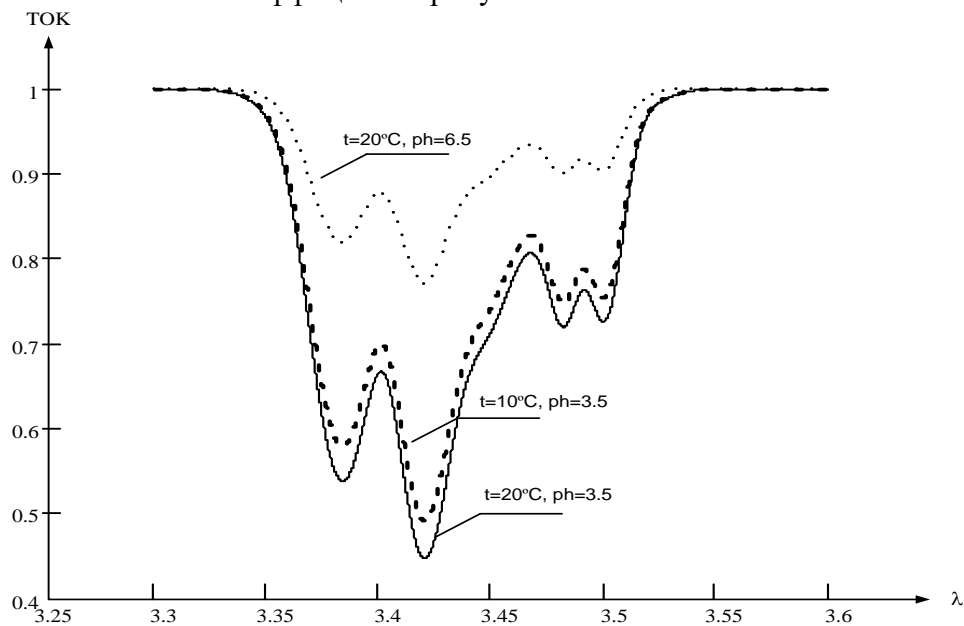


Рисунок 5 - Влияние pH и температуры на поглощение излучения нефтепродуктов в инфракрасной области

На рисунке 5 отражена зависимость коэффициента поглощения НП от длины волны при условии, что концентрация НП остается неизменной и составляет 1 мг/литр, а pH и температура меняются.

Оценки вкладов факторов определяются разностью между суммами средних значений для уровней «плюс» и «минус». Полученные оценки коэффициентов проверяются на значимость по t -критерию Стьюдента. Затем определяется усредненное значение дисперсии всех граф таблицы. В результате получаем оценку дисперсии коэффициента регрессии.

Каждый из факторов принимает три значения:

	x_1	x_2	x_3	y_{max}
1	1	0	0	4,31
2	0	1	0	0,29
3	0	0	1	0,14
4	0	0	0	0,04

Согласно критерию Фишера сравнение ведется по величинам дисперсий. Но погрешность измерений возрастает многократно за счет роста как дисперсий, так и средних значений. В качестве параметров сравнения выбираются среднеквадратические величины погрешности, для которых критерий сравнения представим в следующем виде:

$$F_T = 2.12 \quad F_p = \frac{(\Psi_{\phi i})^2}{(\Psi_0)^2} = \frac{D_{\phi i} + (m_{\phi i})^2}{D_0 + (m_0)^2}$$

Результаты вычисления реальных параметров сравнения:

$$F_{p100} := \frac{0.0445 + (-0.4774)^2}{2.3286 \times 10^{-6} + (4.77 \times 10^{-7})^2} \quad F_{p100} = 116984.77$$

$$F_{p010} := \frac{2.5925 \times 10^{-6} + (-0.0152)^2}{2.3286 \times 10^{-6} + (4.77 \times 10^{-7})^2} \quad F_{p010} = 100.33173459$$

$$F_{p001} := \frac{2.4611 \times 10^{-6} + (0.015)^2}{2.3286 \times 10^{-6} + (4.77 \times 10^{-7})^2} \quad F_{p001} = 97.68147289$$

Поскольку по критерию Фишера все факторы существенно превышают шумовой порог, все факторы следует считать значимыми.

В результате выполнения работы проведено исследование значимости влияния возмущающих факторов на измерения концентрации нефтепродуктов в сточных водах, таких как: кислотно-щелочной баланс и температура забираемой пробы, влияющая на процесс формирования аналитического сигнала. Были установлены метрологические характеристики. На базе этой модели можно проектировать прибор измерения концентрации нефтепродуктов в сточных водах предприятия. Погрешности измерения прибора могут быть сведены к аддитивной и мультипликативной составляющей и в процессе анализа автоматически устраняться.

Перечень ссылок

1. Другов Ю.С., Родин А. А. Экологический анализ при разливах нефти и нефтепродуктов. – С.-Пб., 2000. – 250 с.
2. Володарский Е.Т., Малиновский Б.Н., Туз Ю.М. Планирование и организация измерительного эксперимента. – К., 1987. – 280 с.

ПАРАМЕТРЫ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТЯГОВОГО ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ

Кабанова А.Д., студ.; Дунаев М.Ю., студ.; Антипин Н.М., студ.

(ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г.Ростов-на-Дону, Россия)

Линейный асинхронный двигатель (ЛАД) в наше время набирает все большую популярность. Активно ведутся разработки высокоскоростного транспорта с магнитным подвешиванием экипажей, где вышеупомянутый двигатель играет очень важную роль. Для удобства расчета ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком используют схему замещения. С ее помощью устанавливают связи между различными параметрами и исследуют свойства машины в различных режимах работы. В практике исследования ЛАД схема замещения используется довольно широко [1,3,4]. Линейные асинхронные двигатели с продольно-поперечным магнитным потоком обладают рядом особенностей по сравнению с ЛАД с продольным полем и поэтому разработанные для последних расчетные методики не могут быть к ним непосредственно применены. Для анализа свойств ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком воспользуемся схемой замещения фазы двигателя, представленной на рисунке 1.

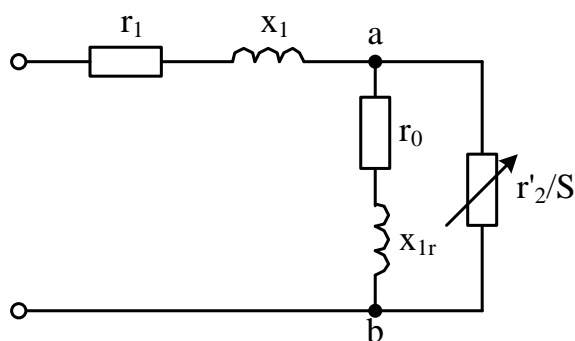


Рисунок 1 – Схема замещения ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком

На рисунке 1 представлены:

r_1 – активное сопротивление фазы индуктора; x_1 – индуктивное сопротивление; r_0 – активное сопротивление, учитывающее погрешность стали; x_{1r} – главное индуктивное сопротивление фазы индуктора; r'_2/S – приведенное активное сопротивление.

При анализе принимаем допущение о полной симметрии фаз обмотки индуктора ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком. Принятая схема замещения позволяет учитывать потери в стали индуктора. В ряде случаев это существенно, поскольку при больших немагнитных зазорах потоки рассеяния могут замыкаться перпендикулярно направлению шихтовки листов магнитопровода, что приводит к дополнительным потерям мощности. Экспериментальным путем установлено, что в ряде случаев потери в стали индуктора могут достигать 5% от номинальной мощности.

Главное индуктивное сопротивление x_{1r} ЛАД являющееся важнейшим параметром схемы замещения. Для повышения точности расчета определяется величина главного индуктивного сопротивления ЛАД с учетом пространственных гармоник магнитодвижущей силы (МДС). С учетом этого получают общие соотношения для расчета главного индуктивного сопротивления ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком, индуктор которого образован комбинацией отдельных сердечников.

Рассматриваемый ЛАД представляет собой комбинацию линейных асинхронных двигателей с продольным и поперечным замыканием магнитного тока. Поэтому можно

рассчитать в отдельности данные каждой линейной машины, а результаты расчета суммировать. Главное индуктивное сопротивление для одного сердечника ЛАД с поперечным магнитным потоком можно определить на основании соотношения:

$$x_{1rq} = \frac{4\mu_0 \cdot f \cdot w_{cq}}{\sum \frac{l}{\mu_r S}}, \quad (1)$$

где w_{cq} – число витков, создающих МДС, возбуждающую магнитное поле, замыкающееся в поперечном направлении; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума; f – частота переменного тока; $\sum l/\mu_r S$ – суммарное относительное магнитное сопротивление для сердечника ЛАД.

При количестве сердечников n_c в фазе индуктора величина определяется с учетом соединения их обмоток. Например, при последовательном соединении обмоток величина, полученная по формуле (1), умножается на « n_c ». Величина суммарного относительного магнитного сопротивления зависит от конструктивного исполнения магнитной системы индуктора и вторичного элемента и определяется на основании закона полного тока. Для ряда наиболее часто встречающихся вариантов конструкций эти значения определены в работе [2].

При расчете можно определить значение главного индуктивного сопротивления одного Ш-образного поперечно шихтованного сердечника и удвоить результат. В этом случае будет определено значение главного индуктивного сопротивления для всего поперечно расположенного сердечника с пятью зубцами. Как вариант, можно выполнить расчет для отдельного ЛАД с поперечным магнитным потоком, индуктор которого состоит из Ш-образных сердечников. При этом необходимо учитывать способ соединения обмоток сердечников, принадлежащих к одной фазе. При последовательном их соединении полученное значение « x_{1rq} » умножается на число сердечников, принадлежащих одной фазе. При параллельном соединении обмоток величина сопротивления будет уменьшаться в « n_c » раз. Для расчета главного индуктивного сопротивления линейного асинхронного двигателя, образованного рядом Ш-образных поперечно шихтованных сердечников, необходимо брать не полное число витков обмотки сердечника, а лишь число витков, соответствующее ЛАД с поперечным магнитным потоком.

Конструкция ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком представляет собой линейную машину, для расчета которой необходимо также определить параметры двигателя с продольным замыканием магнитного потока. Исходная конструкция включает в себя пять ЛАД с продольным магнитным потоком, поэтому можно рассчитать один двигатель и результаты умножить на пять. Главное индуктивное сопротивление фазы ЛАД с продольным магнитным потоком для нашего случая может быть определено на основании следующего соотношения:

$$x_{1rd} = \frac{2m \cdot (w_\phi \cdot k_{об1})^2 \cdot \mu_0 \cdot \tau \cdot 2a \cdot \omega}{\pi^2 (\delta + \Delta_1) \cdot p}, \quad (2)$$

где m – число фаз; w_ϕ – число витков, последовательно соединенных в фазе; $k_{об1}$ – обмоточный коэффициент обмотки индуктора; τ – полюсное деление индуктора; $2a$ – поперечный размер индуктора; ω – угловая частота тока источника питания обмотки индуктора ЛАД; Δ_1 – толщина электропроводящей части вторичного элемента; $(\delta + \Delta_1)$ – полный немагнитный зазор; p – число пар полюсов индуктора.

В нашем случае w_c для расчета ЛАД с поперечным магнитным потоком можно определить как:

$$w_c = n_q \cdot w_k, \quad (3)$$

где n_q – число зубцов индуктора ЛАД в поперечном направлении; w_k – число витков одной катушки индуктора.

Для расчета x_{1rq} принимаем:

$$w_{cq} = \frac{w_c}{A}, \quad (4)$$

Тогда выражение для расчета x_{1rq} примет вид:

$$x_{1rq} = \frac{4\mu_0 \cdot f\left(\frac{w_c}{4}\right)}{\sum \frac{l}{\mu r s}}, \quad (5)$$

Для определения необходимо найти число витков, последовательно соединенных в каждой фазе машины. В нашем случае эта величина составит:

$$w_\phi = \frac{w_k}{2} \cdot m_d, \quad (6)$$

где m_d – число катушек в фазе обмотки ЛАД с продольным магнитным потоком.

Окончательно соотношение для расчета представлено в виде:

$$x_{1rd} = \frac{2m \cdot \left(\frac{w_k}{2} \cdot m_d \cdot k_{об1}\right)^2 \mu_0 \cdot \tau \cdot 2a \cdot \omega}{\pi^2 (\delta + \Delta_1) \cdot p}. \quad (7)$$

Очевидно, что для увеличения x при проектировании ЛАД целесообразно выбрать минимально допустимое значение воздушного зазора δ , возможно минимальную толщину Δ_1 электропроводящей части вторичного элемента. Большие значения x_{1r} позволяют спроектировать ЛАД с приемлемыми энергетическими характеристиками. Аналогичные результаты были получены при определении x_{1r} для линейного асинхронного двигателя с продольным магнитным потоком.

Графически результаты расчетов представлены на рисунке 2.

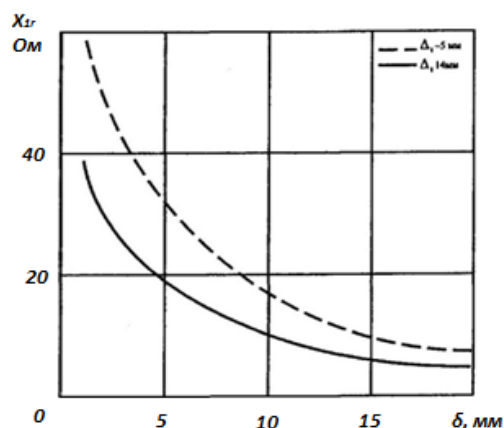


Рисунок 2 - Зависимость $x_{1r} = f(\delta)$

Полученные соотношения позволяют определить значения главных индуктивных сопротивлений для ЛАД с поперечным и продольным магнитными потоками, образующими машину с продольно-поперечным магнитным полем. Значение главного индуктивного сопротивления линейного асинхронного двигателя с поперечным магнитным потоком определено расчетом для экспериментальной модели машины мощностью 10 кВт для двух вариантов исполнения вторичного элемента при различных воздушных зазорах (см. рис. 2).

Перечень ссылок

1. Вольдек А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1970. – 271 с.
2. Копылов И.П. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков и др. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
3. Вольдек А.И. Токи и усилия в слое жидкого металла цилиндрических индукционных насосов // Известия вузов. Электромеханика, 1962, №6. – С. 587- 692.
4. Вольдек А.И., Лазаренко Л.Ф. Исследование продольного краевого эффекта в линейных индукционных МГД-машинах и способов его подавления/ А.И. Вольдек, Л.Ф. Лазаренко// Электричество, 1970, №11. – С.26-30

РАЗРАБОТКА ОДНОЛУЧЕВОГО ФЛУОРИМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ

Кузнецов Д.Н., доцент; Карповский А.С., аспирант; Прокофьев Д., студент
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, ДНР»)

В настоящее время на территории Донецкой области активно развивается сельское хозяйство и выращиваются различные виды культур. Для выращивания качественной продукции зачастую недостаточно оценивать состояние растений органолептически. Отклик растения на влияние стресс-факторов (таких как засуха, избыточная влага, неприемлемый уровень pH и др.) в виде, к примеру, пожелтевших листьев проявляется слишком поздно для принятия оперативных мер по корректировке стратегии выращивания. Наиболее оперативным из ныне известных методов согласно [1] является метод оценки прохождения фотосинтеза путем измерения флуоресценции хлорофилла. Данный метод предусматривает применение приборов-флуориметров, которые облучают лист растения световым потоком, а затем фиксируют "отклик" растения с последующим анализом фиксируемых данных, позволяющим принять меры по оперативному устранению стресса. Исходя из вышесказанного, актуальным является исследование флуориметрического метода оценки состояния растений. В свою очередь для исследования данного метода существует необходимость в разработке флуориметра, способного фиксировать так называемую кривую Каутского, анализ которой даст возможность определения влияния стресс-факторов на растение.

Разрабатываемое устройство для регистрации флуоресценции хлорофилла в листьях растений даст возможность определить, как растение чувствует себя в определенных условиях, что поможет выявить и устранить факторы пагубного влияния на растение, спрогнозировать тенденцию развития урожая, смоделировать максимально возможную продуктивность культуры в имеющихся условиях и т.д.

Целью работы является разработка и исследование простого однолучевого флуориметра для измерения и анализа флуоресценции хлорофилла в листьях растений.

Индукция флуоресценции хлорофилла имеет место, когда после затемнения исследуемого фотосинтезирующего объекта в течение примерно 30 минут объект освещается. Наблюдается резкое увеличение флуоресценции хлорофилла, а затем медленное снижение интенсивности индуцированной флуоресценции. Это явление впервые описал Каутский в 1931 году, поэтому оно называется «эффектом Каутского».

Индукционная кривая флуоресценции (см.рис.1) представляет собой изменения эмиссии флуоресценции хлорофилла в фотосинтезирующем объекте. Ее можно разделить на быструю фазу (около 1 с), и медленную фазу (продолжающуюся несколько минут).

По индукционной кривой флуоресценции определяют следующие параметры [2]:

F_0 - начальная флуоресценция объектов, адаптированных к темноте;

F_M – максимальный уровень флуоресценции;

T_{FM} - время достижения максимального уровня флуоресценции;

A_M - площадь над кривой индукции флуоресценции хлорофилла;

F_V / F_M - максимальная (потенциальная) производительность фотосинтетического аппарата растений.

Каждый из перечисленных выше параметров имеет конкретное физиологическое значение. Например, параметр F_V / F_M , который представляет собой отношение $(F_M - F_0) / F_M$, измеренное в адаптированных к темноте растениях, отражает потенциальную квантовую эффективность фотосинтеза и может быть использован в качестве надежного индикатора фотохимической активности фотосинтетического аппарата. Для большинства растений при полном развитии в не стрессовых условиях максимальное значение этого параметра равно

0,83. Его понижение означает, что перед измерением растение было подвержено влиянию стресса.

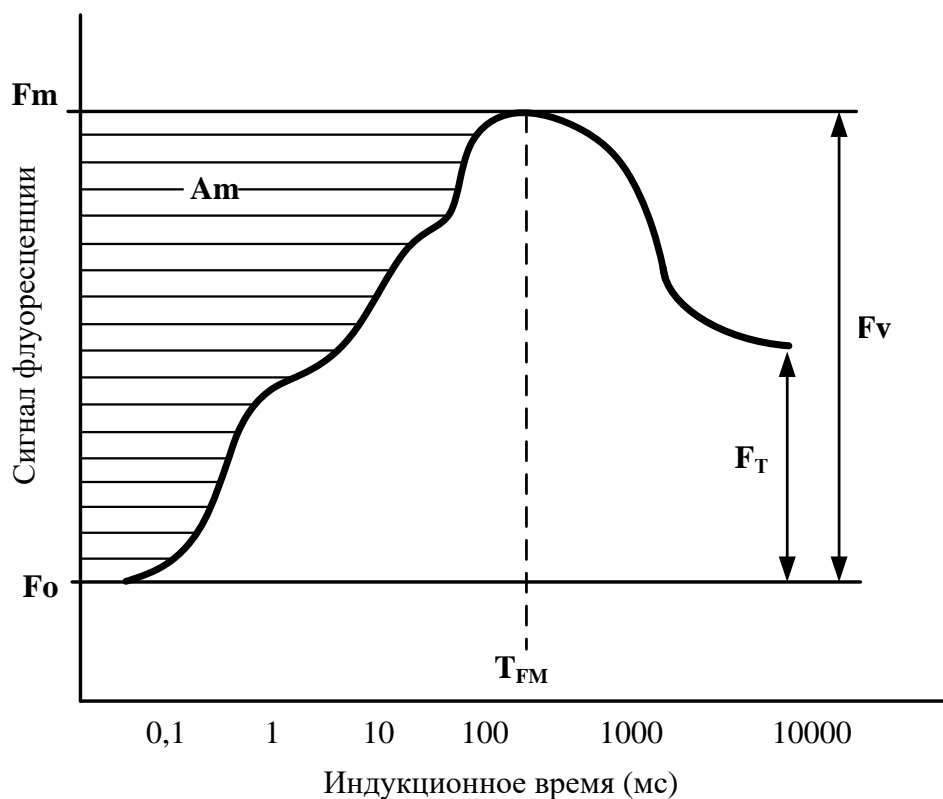


Рисунок 1 - Вид кривой индукции флуоресценции хлорофилла а

Рассмотрим принцип регистрации флуоресценции. На рисунках 2 и 3 приведены соответственно спектры поглощения зеленого листа и флуоресценции хлорофилла-а. Из рисунков следует, что для регистрации флуоресценции необходимо освещать лист растения синим светом с длинами волн порядка 400..450 нм и одновременно измерять интенсивность флуоресценции в области спектра с длинами волн от 680..780 нм.

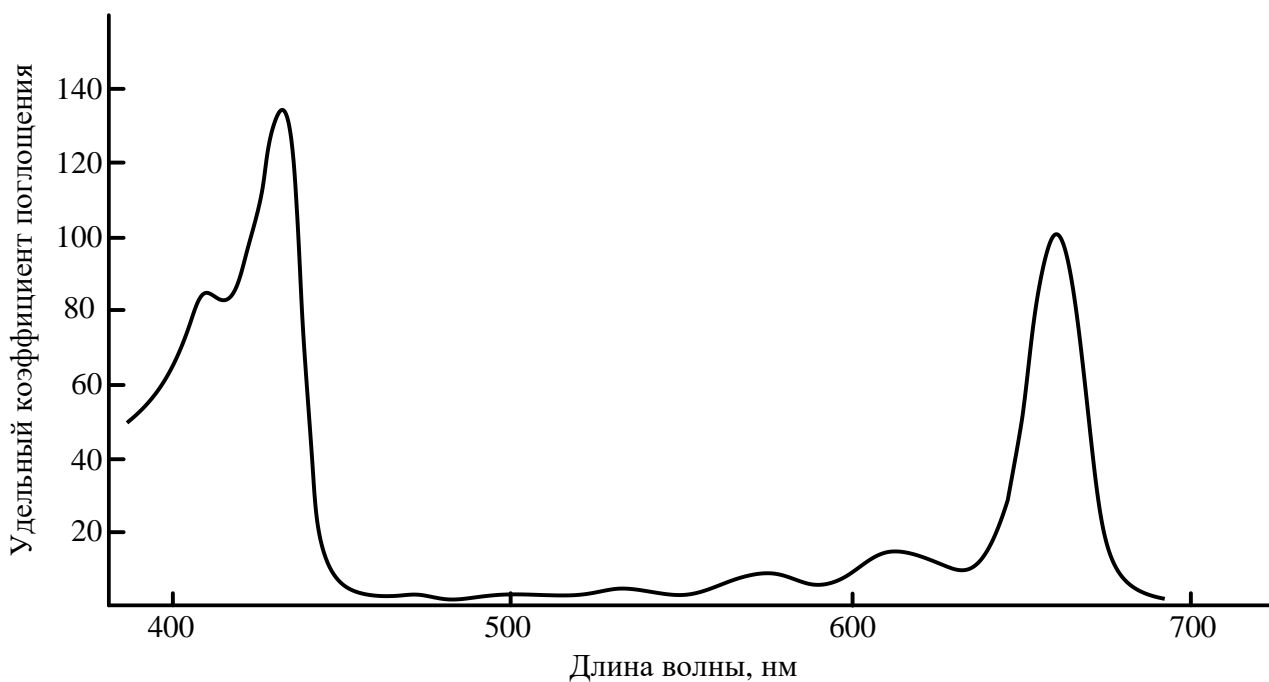


Рисунок 2 - Спектр поглощения зеленого листа

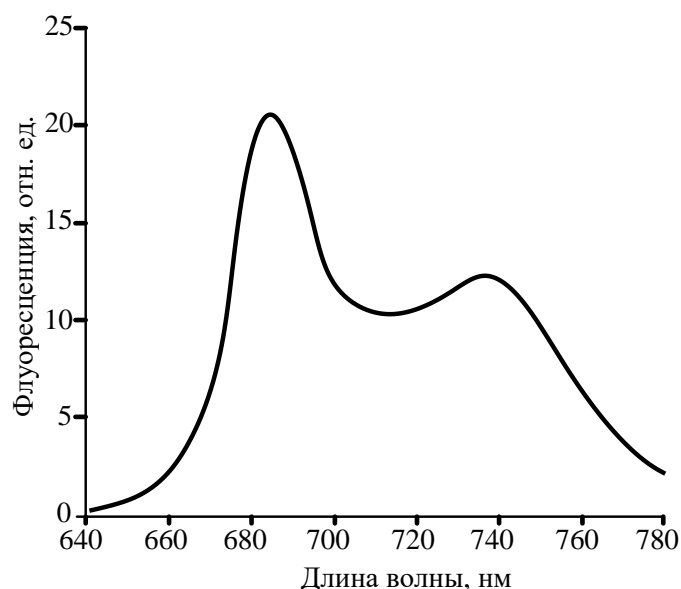


Рисунок 3 – Спектр флуоресценции хлорофилла а

Структурная схема разрабатываемого флуориметра представлена на рисунке 4. В качестве источника возбуждающего излучения используется синий фито светодиод мощностью 3 Вт с максимумом излучения на длине волны 450 нм. При расстоянии до объекта облучения 2 см и потребляемом токе 700 мА данный источник создает необходимую для измерений освещенность поверхности не менее 3000 мкмоль/(с·м²).

Для подавления отраженного светового потока возбуждающего синего излучения от информационного красного светового потока флуоресценции используется красный светофильтр с длиной волны среза 700 нм.

Для регистрации интенсивности флуоресценции в схеме использовано фотоприемное устройство TSL257. TSL257 - это высокочувствительный малошумящий оптический преобразователь света в напряжение, который сочетает в себе фотодиод и трансимпедансный усилитель на одной монолитной интегральной схеме CMOS. Выходное напряжение прямо пропорционально интенсивности света (освещенности) на фотодиоде. Основные технические характеристики TSL257:

- номинальное напряжение питания, В 5;
- темновое выходное напряжение, мВ не более 15;
- чувствительность при $\lambda=470$ нм, В/(мкВт/см²) 1,3.

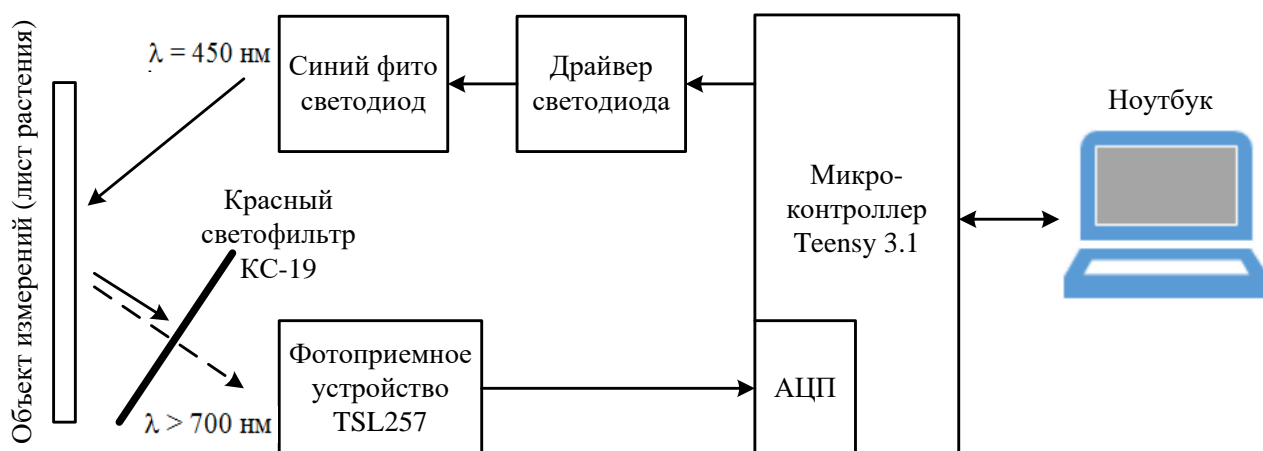


Рисунок 4 – Структурная схема флуориметра

Выходной потенциальный сигнал фотоприемного устройства, пропорциональный интенсивности флуоресценции, с помощью встроенного в микроконтроллер аналого-цифрового преобразователя АЦП преобразуется в цифровой код и запоминается во внутренней оперативной памяти микроконтроллера с последующей передачей накопленного массива измерительных данных в ноутбук.

Выбранный микроконтроллер teensy 3.1 имеет 64 кБ оперативной памяти данных и 12-разрядный АЦП с периодом преобразования 10 мкс.

Предложенная структурная схема флуориметра была реализована в виде макетного образца. На рисунке приведен результат регистрации кривой Каутского для листа комнатного растения с помощью макетного образца флуориметра. Полученный результат хорошо согласуется с известными теоретическими и практическими данными.

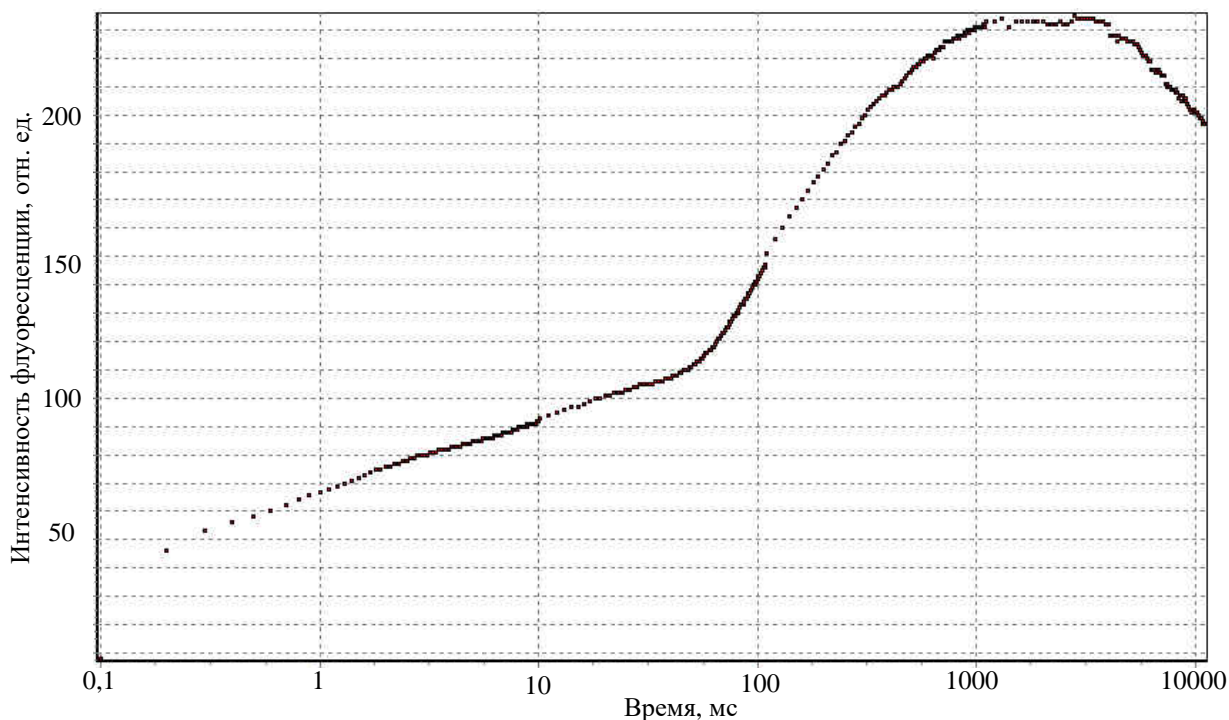


Рисунок 5 – Результат регистрации кривой Каутского с помощью макетного образца флуориметра

Выводы

Предложенная структурная схема однолучевого флуориметра для измерения и анализа флуоресценции хлорофилла в листьях растений позволяет регистрировать кривую индукции флуоресценции и определять параметры, имеющие конкретное физиологическое значение, что поможет оперативно выявить и устранить факторы пагубного влияния на растение, спрогнозировать тенденцию развития урожая, смоделировать максимально возможную продуктивность культуры в имеющихся условиях.

Перечень ссылок

1. Гольцев В. Н., Каладжи М. Х., Кузманова М. А., Аллахвердиев С. И. Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла а – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. – 220 с.

2. Карповский А. Ю., Кузнецов Д. Н. Анализ современных методов качественной оценки состояния растений. Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых: сборник научных трудов XVIII научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 22-24 мая 2018 г. - Донецк : ДОННТУ, 2018. – 422-425с.

АППРОКСИМАЦИЯ ТАБЛИЧНОЙ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКА ВЛАЖНОСТИ H25K5

Чертушкин Е.О., студент.; Кузнецов Д.Н., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, ДНР»)

Влажность воздуха - один из важнейших параметров атмосферы, который определяет насколько комфортно чувствует себя человек в данный момент времени в данном помещении. Низкая влажность вызывает быстрое испарение и высыхание слизистой оболочки носа, гортани, легких, что приводит к простудным и другим заболеваниям. При низкой температуре и высокой влажности воздуха повышается теплоотдача и человек подвергается большому охлаждению. При высокой температуре и высокой влажности воздуха теплоотдача резко сокращается, что ведет к перегреванию организма, особенно при выполнении физической нагрузки.

Для измерения влажности воздуха часто используют резистивные датчики влажности, к достоинствам которых следует отнести дешевизну и довольно большой срок службы – до 5 лет. Однако значительным недостатком резистивных датчиков является сильная температурная зависимость сопротивления от температуры и необходимость температурной компенсации их показаний.

Таким образом, для определения влажности необходимо измерить сопротивление датчика и температуру воздуха, а затем по градуировочной таблице определить влажность. На практике пользоваться табличной функцией преобразования неудобно. Для упрощения расчета выполним аппроксимацию табличной зависимости аналитическими функциями.

Целью работы является аппроксимация табличной функции преобразования резистивного датчика влажности H25K5.

Статическая функция преобразования резистивного датчика влажности H25K5 задана в виде таблицы (см. табл. 1). Информативным параметром датчика является его сопротивление переменному току частотой 1 кГц. Как видно из таблицы сопротивление датчика зависит от относительной влажности и температуры воздуха.

Таблица 1 – Функция преобразования датчика H25K5

	10 °C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C
20% Rh		21000	13500	9800	8000	6300	4600	3800	3200
25% Rh	16000	10500	6700	4803	3900	3100	2300	1850	1550
30% Rh	7200	5100	3300	2500	2000	1500	1100	900	750
35% Rh	3200	2350	1800	1300	980	750	575	430	350
40% Rh	1400	1050	840	630	470	385	282	210	170
45% Rh	386	287	216	166	131	104	80	66	51
50% Rh	211	159	123	95	77	63	52	45	38
55% Rh	118	91	70	55	44	38	32	30	24
60% Rh	64	51	40	31	25	21	17	14	12
65% Rh	38	31	25	20	17	13	11	9	8
70% Rh	24	19	16	13	10,5	9	8,2	7,1	6
75% Rh	15	12	10	8,5	7,2	6,4	5,8	5	4,1
80% Rh	10,2	8,1	7,2	5,7	5	4,4	4	3,3	2,9
85% Rh	6,9	5,5	4,7	4	3,6	3,2	2,9	2,4	2
90% Rh	4,7	4,1	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1	1,8	1,5

Выполним аппроксимацию для наиболее востребованного диапазона температур от 10 до 30 °С и влажностей от 45 до 90 % (в таблице выделено жирным). Вначале средствами программы Excel выполним аппроксимацию степенными функциями зависимости сопротивления датчика от влажности при фиксированных температурах 10, 15, 20, 25 и 30 °С. Результаты приведены на рисунке 1. Аппроксимация выполнялась функциями вида

$$R(Rh) = A \cdot Rh^n. \quad (1)$$

где R – электрическое сопротивление датчика, кОм; Rh – относительная влажность воздуха, %; A и n – постоянные коэффициенты.

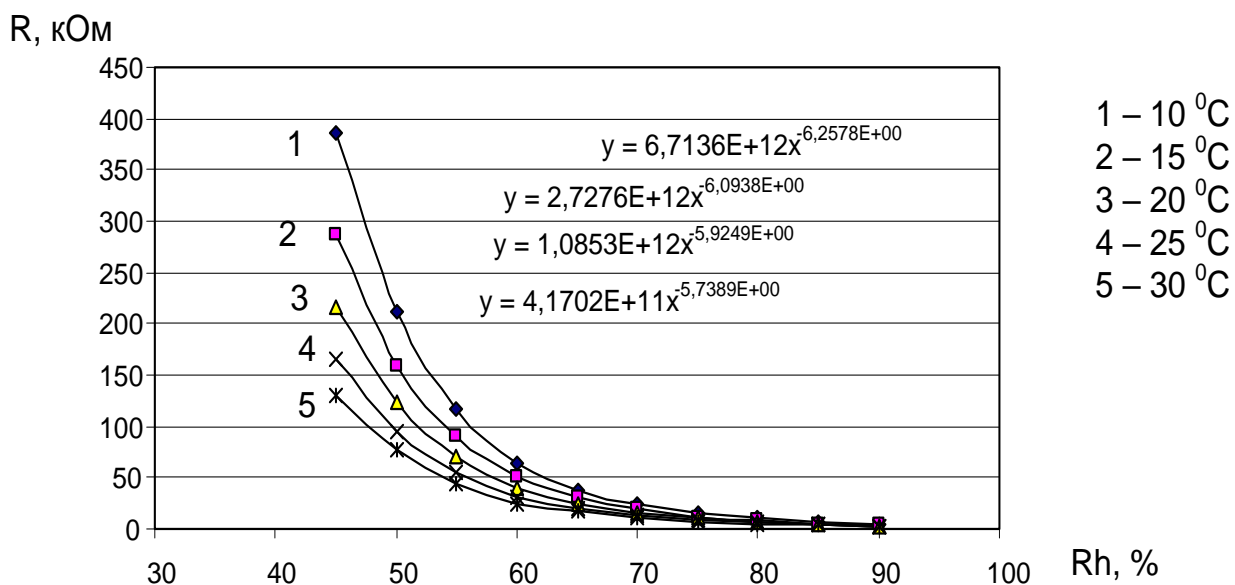


Рисунок 1 – Результаты аппроксимации зависимости сопротивления датчика от влажности при фиксированной температуре

В результате для каждой температуры получили различные коэффициенты, сведенные в таблицу 2.

Таблица 2 – Коэффициенты аппроксимирующих функций

$T, ^\circ\text{C}$	n	A
10	6,4134	1,62E+13
15	6,2578	6,71E+12
20	6,0938	2,73E+12
25	5,9249	1,09E+12
30	5,7389	4,17E+11

Далее выполним аппроксимацию зависимости коэффициента A от температуры экспоненциальной функцией вида

$$A(T) = a_0 \cdot e^{a_1 T}. \quad (2)$$

Результаты аппроксимации представлены на рисунке 2.

Зависимость коэффициента n от температуры аппроксимируем линейной функцией вида

$$n(T) = n_0 + n_1 \cdot T. \quad (3)$$

Результаты аппроксимации приведены на рисунке 3.

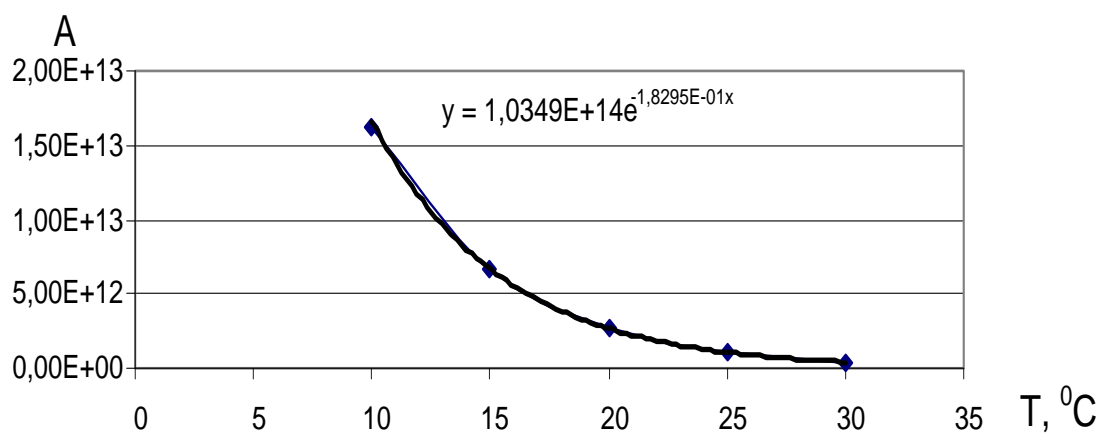


Рисунок 2 – Результаты аппроксимации зависимости коэффициента A от температуры

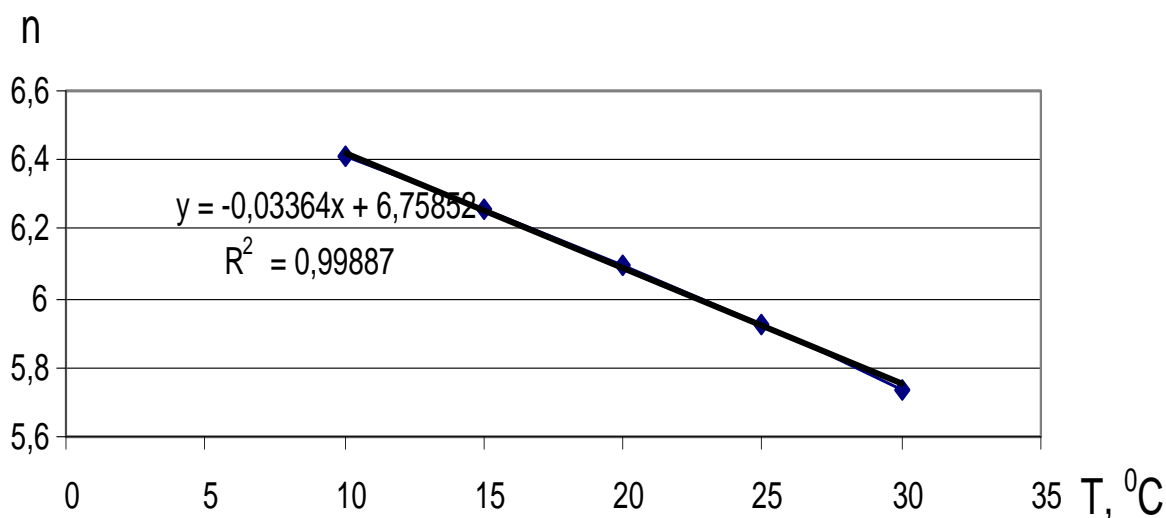


Рисунок 3 – Результаты аппроксимации зависимости коэффициента n от температуры

В результате для расчета относительной влажности получили следующую итоговую аппроксимирующую зависимость:

$$Rh(R, T) = \left(\frac{R}{A(T)} \right)^{\frac{1}{n(T)}}. \quad (4)$$

Установлено, что предложенная зависимость (4) обеспечивает аппроксимацию табличной функции преобразования резистивного датчика H25K5 с погрешностью не более 0,6 %.

Выводы

Предложенный способ аппроксимации табличной функции преобразования резистивного датчика влажности H25K5 и полученная итоговая аппроксимирующая зависимость обеспечивают аппроксимацию с погрешностью не более 0,6 %.

Перечень ссылок

1. Исследовательская работа: «Измерение влажности воздуха»: <https://infourok.ru/proektnoissledovatel'skaya-rabota-po-fizike-izmerenie-vlazhnosti-vozduha-2692694.html> (Дата доступа: 23.04.2019).
2. Датчики влажности. Виды и работа. Применение и особенности: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/datchiki-vlazhnosti/> (Дата доступа: 23.04.2019).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ В УСЛОВИЯХ МОЛОКОЗАВОДА

Морозов И.А., магистрант; Косарев Н.П. доц., к.т.н., доц.; Лыков А.Г., ст. преп.
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

При изготовлении молочной продукции актуальными являются вопросы производственной санитарии и гигиены на предприятиях. Немаловажную роль при этом играет применение рациональных режимов мойки и дезинфекции технологического оборудования, современных моющих и дезинфицирующих средств.

Непосредственная промывка закрытых емкостей, трубопроводов технологического оборудования молокозавода невозможна в силу их конструктивных особенностей. Для этих целей применяются станции безразборной промывки, или СІР-станции (Clean In Place). Данные станции обеспечивают подготовку соответствующих моющих растворов, их циркуляцию через оборудование и трубопроводы с заданным потоком и температурой. Система должна гарантировать, что моющие растворы протекают по всей технологической линии в течение заданного времени. При этом основным преимуществом является отсутствие необходимости в разборке оборудования.

Эффективность безразборной мойки и дезинфекции зависит от степени загрязнения поверхностей, от качества и концентрации моющих растворов, режимов мойки и ополаскивания, жесткости воды. Концентрация моющего раствора подбирается в зависимости от его температуры. Так, для температуры (60-65)°С оптимальной является концентрация моющего раствора 0.8%; для температуры (40-45)°С оптимальной является концентрация моющего раствора 1.0% [1].

В качестве примера в таблице 1 приведена схема мойки и дезинфекции технологического оборудования [1].

Таблица 1 – Этапы СІР-мойки

Этапы	Температура, °С	Длительность обработки, минут
Ополаскивание водой	20	от 5 до 10
Циркуляция раствора каустической соды	75±5	от 10 до 30
Ополаскивание водой со сбросом в канализацию	45±5	от 10 до 70
Циркуляция раствора кислоты	65±5	от 10 до 30
Ополаскивание водой со сбросом в канализацию	45±5	от 5 до 10
Нагрев горячей водой до температуры стерилизации со сбросом её в канализацию	95±5	2
Стерилизация горячей водой (циркуляция)	95±5	от 10 до 15

Таким образом, для обеспечения удовлетворительных результатов мойки и дезинфекции следует тщательно контролировать несколько параметров процесса. Этими параметрами являются: концентрация раствора моющего средства, температура раствора моющего средства, продолжительность мойки.

Из таблицы 1 следует, что в качестве промывочной жидкости для очистки составных частей технологического оборудования молокозавода используют водные растворы каустической соды (NaOH), азотной кислоты (HNO₃) и очищенную воду. Предельные концентрации растворов NaOH и HNO₃ достигают (2-3)%, согласно технологических норм СІР-мойки.

Для контроля качества промывочной жидкости используется связь между концентрацией водного раствора и его удельной электропроводностью. Зависимость удельной электропроводности растворов NaOH и HNO₃ от концентрации при температуре T = 25 °C приведены на рисунке 1 [2].

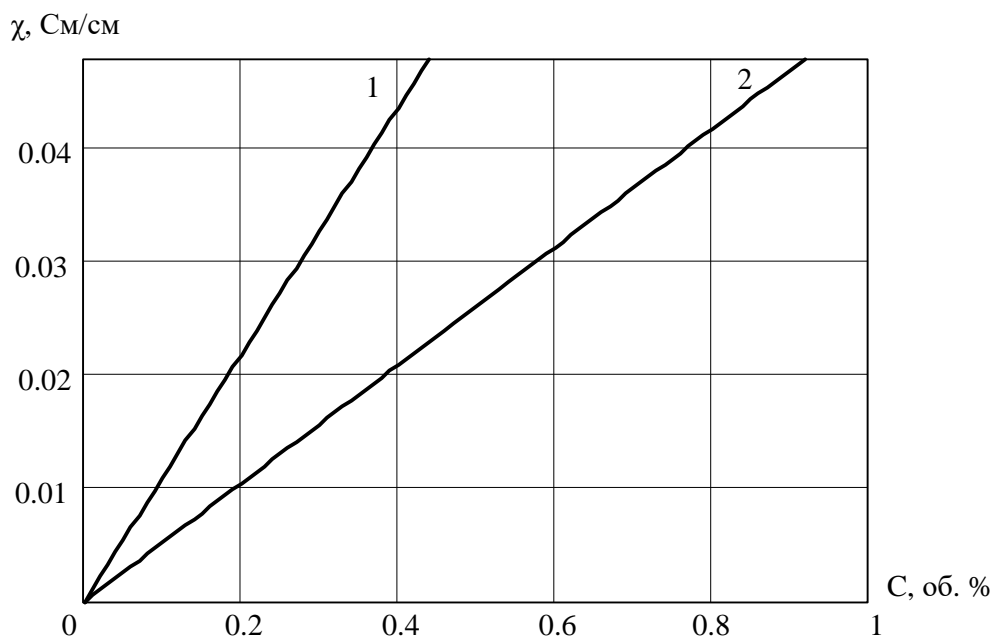


Рисунок 1 – Зависимость удельной электропроводности растворов от концентрации NaOH (1) и HNO₃ (2)

Из рисунка 1 следует, что при малых концентрациях NaOH и HNO₃ зависимость носит линейный характер и может быть описана следующим выражением:

$$\chi(C) = k \cdot C = \frac{\chi(C_{\max}) - \chi(C_{\min})}{C_{\max} - C_{\min}} \cdot C, \quad (1)$$

где $\chi(C)$ – удельная электропроводность при концентрации C;

k – коэффициент пропорциональности:

$$k_{\text{NaOH}} = \frac{48 \cdot 10^{-3} \frac{\text{См}}{\text{см}} - 0 \frac{\text{См}}{\text{см}}}{0.92 \text{об.}\% - 0 \text{об.}\%} = 0.053 \frac{\text{См}/\text{см}}{\text{об.}\%};$$

$$k_{\text{HNO}_3} = \frac{48 \cdot 10^{-3} \frac{\text{См}}{\text{см}} - 0 \frac{\text{См}}{\text{см}}}{0.44 \text{об.}\% - 0 \text{об.}\%} = 0.109 \frac{\text{См}/\text{см}}{\text{об.}\%};$$

C – концентрация компонента.

Из литературных источников [2] установлено, что линейная зависимость для водных растворов NaOH и HNO₃ может быть использована до концентраций порядка (15-20) об.%. Таким образом, в данном случае при концентрациях до 3 об.% полученные уравнения полностью удовлетворяют.

Оценим влияние температуры на результат измерения удельной электропроводности. Из литературных источников [2,3] установлено, что температурная зависимость удельной электропроводности до температур порядка 90°C может быть описана следующим выражением:

$$\chi(T) = \chi(T = 25^\circ \text{C}) \cdot (1 + a \cdot (T - 25)), \quad (2)$$

где a – температурный коэффициент.

Установлено, что при концентрации NaOH равной 3 об.% и температуре 50°C, удельная электропроводность равна $\chi = 0.237$ См/см. Тогда, используя выражение (2), определим значение температурного коэффициента для NaOH:

$$a = \frac{\chi(T = 50^\circ\text{C}) - \chi(T = 25^\circ\text{C})}{\chi(T = 25^\circ\text{C}) \cdot (50 - 25)} = \frac{0.237 - 0.156}{0.156 \cdot (50 - 25)} = 0.0208 \frac{\text{См/см}}{^\circ\text{C}}.$$

Таким образом, зависимость удельной электропроводности от концентрации NaOH и температуры описывается следующим выражением:

$$\chi(T, C) = k \cdot C \cdot (1 + a \cdot (T - 25)) = 0.053 \cdot C \cdot (1 + 0.0208 \cdot (T - 25)), \quad (3)$$

Зависимости, построенные по выражению (3) при температурах рабочего диапазона раствора NaOH (см. табл. 1), приведены на рисунке 2.

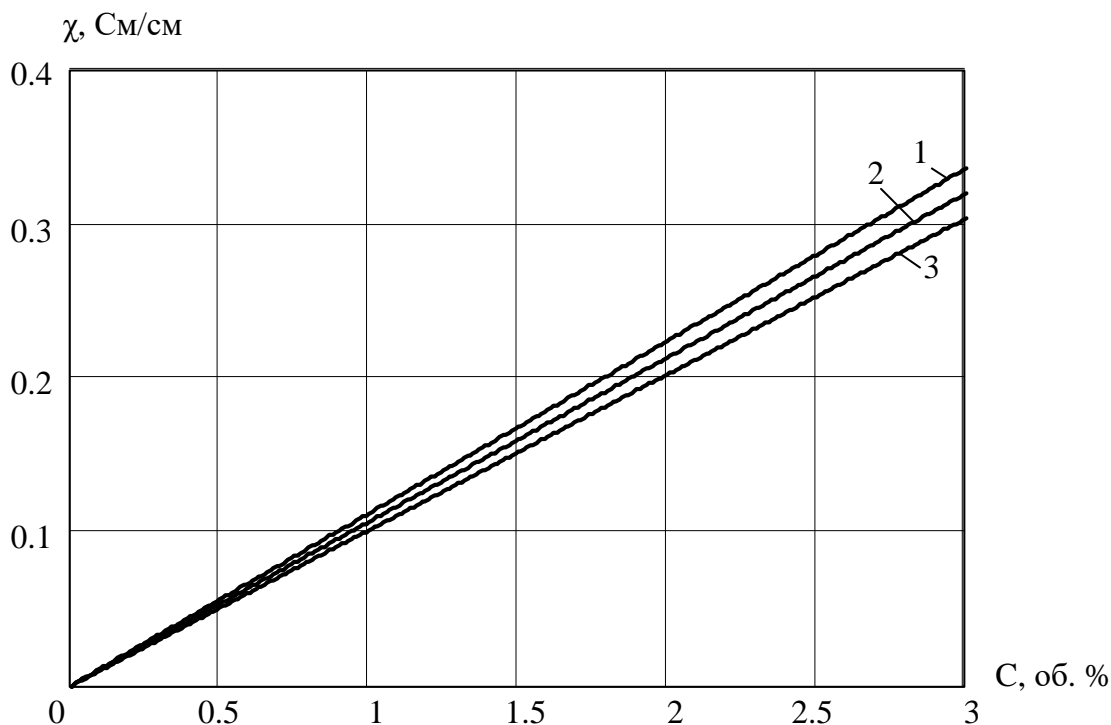


Рисунок 2 – Зависимость удельной электропроводности от концентрации NaOH и температуры (1 – при $T = 80^\circ\text{C}$, 2 – при $T = 75^\circ\text{C}$, 3 – при $T = 70^\circ\text{C}$)

Рассчитаем погрешность измерения удельной электропроводности при отклонении температуры на 5 С и наиболее распространенной концентрации промывочной жидкости 1 об.%:

– абсолютная погрешность:

$$\Delta\chi = \chi(T = 80^\circ\text{C}, C = 1 \text{ об.}\%) - \chi(T = 75^\circ\text{C}, C = 1 \text{ об.}\%) = 0.1119 - 0.1064 = 0.0055 \text{ См/см};$$

– относительная погрешность:

$$\delta_\chi = \frac{\Delta\chi}{\chi(T = 75^\circ\text{C}, C = 1 \text{ об.}\%)} \cdot 100\% = \frac{0.0055}{0.1064} \cdot 100\% = 5.1\%.$$

Тогда погрешность определения концентрации раствора NaOH составит:

– абсолютная погрешность:

$$\Delta C = \frac{\Delta\chi}{k} = \frac{0.0055}{0.053} = 0.104 \text{ об.}\%;$$

– относительная погрешность:

$$\delta_c = \frac{\Delta C}{C} \cdot 100\% = \frac{0.104}{1} \cdot 100\% = 10.4\%.$$

Из полученных значений следует, что при изменении температуры промывочной жидкости на $\pm 5^\circ\text{C}$ от номинального значения (что допускается технологией СІР-мойки) и наиболее распространенной концентрации 1 об.%, относительная погрешность определения концентрации промывочной жидкости составляет 10.4%. При этом, если при измерении удельной электропроводности не контролировать температуры воды в баке и не учитывать ее в результате измерения, то полученная погрешность определения концентрации приводит к перерасходу моющих концентратов более чем на 10%, что увеличивает финансовые затраты предприятия, или к некачественной мойки, что ухудшает качество готовой продукции и может сказаться на здоровье потребителя молочной продукции.

Таким образом, для уменьшения погрешности измерения концентрации промывочной жидкости необходимо контролировать температуру в баках для приготовления водных растворов в диапазоне от 0 до 100°C и учитывать ее при определении концентрации промывочной жидкости. При этом рекомендуемое значение абсолютной погрешности измерения температуры составляет не более 1°C .

Аналогичные выкладки можно провести и для раствора азотной кислоты (HNO_3), в результате также возникает необходимость контроля температуры раствора с погрешностью не более 1°C .

На основании представленных выше рассуждений можно сделать вывод, что определение качества промывочной жидкости технологического оборудования в условиях молокозавода целесообразно производится на основании измерения удельной электропроводности и температуры подготавливаемого водного раствора и путем использования выражения:

$$C(\chi, T) = \frac{\chi}{k \cdot (1 + a \cdot (T - 25))}. \quad (4)$$

Использование полученного выражения (4) в электронном устройстве управления мойкой также позволяет производить перераспределение между концентрацией каустической соды/азотной кислоты и температурой при ограниченном количестве моющих концентратов. Так, при малом остатке моющих концентратов можно за счет увеличения температуры водного раствора снизить их расход и тем самым осуществить большее количество моек на данном остатке. Качество мойки и дезинфекции при этом не ухудшается.

Перечень ссылок

1. MES. Оборудование [Электронный ресурс]: Технология СІР мойки. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.moika-cip.ru/oborudovanie/cip-moiki/tehnologiya-cip-moiki/>– Дата доступа: апрель 2018. – Загл. с экрана.
2. Рогацкин Б.С. Методические указания по применению кондуктометрического контроля для ведения водного режима электростанции/ Б.С.Рогацкин, А.В. Отченашенко, В.Ф. Гвоздев и др. – Москва, 2009. –38 с.
3. Конькова А.В. Электропроводность растворов электролитов: практическое руководство / А.В. Конькова. – Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2010. – 15 с.

ПРОБОПОДГОТОВКА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕНЗАПИРЕНА В ВЫБРОСАХ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Мажан М.В., студ., Хламов М.Г. проф., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Дорожно-транспортный комплекс - важнейший составной элемент экономики любого государства. Функционирование данного элемента сопровождается мощным негативным воздействием на биоту.

Вклад транспортных средств в загрязнение окружающей среды целесообразно оценивать в сравнении и сопоставлении с другими секторами экономики, их составляющими для всех компонентов экосистем.

Донбасс – это крупный промышленный регион, в котором насчитываются тысячи крупных промышленных предприятий, производственных объединений и предприятий топливно-энергетического комплекса, горнодобывающей, металлургической, химической промышленности, тяжёлого машиностроения, строительной отрасли, а также агропромышленного комплекса. Донбасс обеспечивает сырьем большую часть промышленного производства, причём в наиболее экологически опасных отраслях.

Большое количество промышленных и сельскохозяйственных производств, автотранспортной инфраструктуры, в сочетании с высокой плотностью населения, создали крайне опасную техногенную и антропогенную нагрузку на биосферу – наивысшую в Европе. Отмечается прямая связь между повышением активности деятельности предприятий городов и ростом уровня загрязнения окружающей среды.

Поэтому решение экологических проблем должно быть направлено на формирование эффективных регулирующих механизмов, управленческих решений и системы мониторинга деятельности загрязняющих предприятий. Такая политика должна быть направлена на ограничение чрезмерного использования природных ресурсов автомобильным транспортом, который работает за счет двигателя внутреннего сгорания, устранение формирования высоких уровней загрязнения окружающей среды и обеспечение экологически безопасной жизнедеятельности населения.[1]

Несмотря на спад производства, в результате которого общее количество выбросов и сбросов в окружающую среду существенно уменьшилось, нагрузка на биосферу Донбасса по-прежнему остаётся одной из наибольших в Европе.

Транспорт - один из самых значимых загрязнителей атмосферного воздуха в регионе. Его доля в общих выбросах загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и мобильных источников в Украине составляет около 40%, что выше, чем доля какой-либо другой отрасли.

Автомобильный транспорт, который работает за счет двигателя внутреннего сгорания, является одним из главных источников загрязнения воздушного бассейна Донбасса и играет неблагоприятную роль в формировании санитарных условий, как на автомагистралях, так и в жилых массивах городов и поселков. На каждый автомобиль в среднем приходится около 3 кг выбросов вредных веществ ежедневно.

Бенз(а)пирен относится к веществам 1 класса опасности. Среднесуточная предельно допустимая концентрация бенз(а)пирена в воздухе населенных мест составляет $0,001 \text{ мкг/м}^3$, предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, максимальная разовая предельно допустимая концентрация не установлена. Предельно допустимая концентрация опасного исследуемого вещества в воздухе рабочей зоны установлена на уровне $0,15 \text{ мкг/м}^3$. Летуч. При комнатной температуре пары распространяются на значительные расстояния. Легко окисляется в разбавленных растворах при освещении фиолетовым или ультрафиолетовым светом.

Метод измерения концентрации бенз(а)пирена, основан на улавливании самого вещества на аэрозольный фильтр, который в последствии извлекается с помощью гексана, концентрировании экстракта, хроматографическом его разделении, обнаружении и регистрации сигнала с использованием флуоресцентного детектора, идентификации пика бенз(а)пирена на хроматограмме по времени удерживания и расчете массовой концентрации искомого вещества.[2]

Перед тем, как проводить измерение концентрации бенз(а)пирена, необходимо собрать и подготовить пробы исследуемого воздуха, растворитель – четыреххлористый водород и саму хроматографическую колонку для измерений.

Отбор проб атмосферного воздуха населенных мест производится по ГОСТ 17.2.3.01-86 на аэрозольные фильтры АФА-ХП-20 или АФА-ВП-20, установленные в двух параллельных каналах электроаспиратора АВА-3, при расходе воздуха через один канал не более 140 куб. дм/мин.

При отборе проб атмосферного воздуха должны быть соблюдены следующие условия: - отсутствие, каких либо атмосферных осадков; - входные отверстия устройства отбора пробы должны располагаться вдали от стен зданий, заборов, деревьев и других препятствий. Перед отбором проб выполняют измерения направления, скорости ветра, температуры и атмосферного давления.

Устройство для отбора проб размещается на высоте 1,5 - 3,5 м в соответствии с пунктом 2.5 РД 52.04.186-89. Входные отверстия устройства отбора пробы должны быть направлены против ветра.

Общий объем одной пробы, взятой на оба фильтра, должен составлять не менее 5 куб. м. Одноразовые пробы отбираются в течение 20-30 минут, а среднесуточное значение дискретно в течение 30 минут. Не менее, 4 раза в день.

Экспонированные фильтры упаковывают в бумажные маркированные пакеты и хранят в сухом помещении или в холодильнике не более 30 суток. Допускается использование аэрозольных фильтров с большей площадью поверхности (АФА-ХП-40 или АФА-ВП-40).

Отбор проб воздуха рабочей зоны проводится в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88. Воздух прокачивают через два последовательно расположенных фильтра АФА-ХП(ВП)-20 в течение 15 мин. при расходе 10 - 20 куб. дм/мин. [3]

Фильтры помещают в кювету и добавляют 20 куб. см гексана, который полностью должен покрывать фильтр (в случае необходимости объем может быть увеличен). После этого кювету помещают в ванну ультразвуковой установки таким образом, чтобы уровень воды в ней был не ниже уровня гексана в кювете, и проводят экстракцию в течение 15 мин.

Экстракт перемешивается непосредственно в кювете, после для отгонки растворителя используют специальный клапан. Затем проводят еще одну аналогичную экстракцию на ультразвуковой установке новой порцией исследуемого образца выхлопных газов в атмосферном воздухе. Оба экстракта объединяют.

Полученный окончательный экстракт растворяют в 250 мл четыреххлористого водорода - растворителе, тщательно обмывая им стенки пробирки, и оставляют на 15 мин для отстоя и полного растворения бенз(а)пирена. Полученный таким образом раствор далее именуется концентратом.

Хлористый водород представляет собой газ, не имеющий цвета, температура кипения которого составляет -85°C . Хлористый водород отлично растворяется в воде, причем растворимость прямо зависит от температуры.

Раствор хлористого водорода в воде представляет собой соляную кислоту.

После подготовки всех необходимых образцов и процессов для измерения концентрации бенз (а) пирена в выбросах проводят оперативный мониторинг анализируемых выбросов на наличие бенз (а) пирена методом бездисперсионной спектрометрии. Используемый измерительный преобразователь показан на рисунке 1.

С помощью этого устройства, производится концентрирование бенз(а)пирена в малом количестве растворителя, в нашем случае четырёххлористом углеводе.

Эффективное извлечение бенз(а)пирена из атмосферного воздуха достигается путем перекачки необходимого объема пробы воздуха и ультразвукового распыления его в растворителе. Благодаря уменьшению пузырьков воздуха бенз(а)пирен эффективно абсорбируется из газообразной среды в жидкость.

Метод основан на избирательном поглощении в узком диапазоне длин волн (в полосе поглощения) веществом оптического излучения.

На рисунке 1 изображена кювета в которой находится растворитель – четыреххлористый углерод. В кювету прокачивается 5 куб.м выхлопных газов, смесь постоянно перемешивается. После получения нужной смеси, кювета отстаивается на протяжении 15 минут.

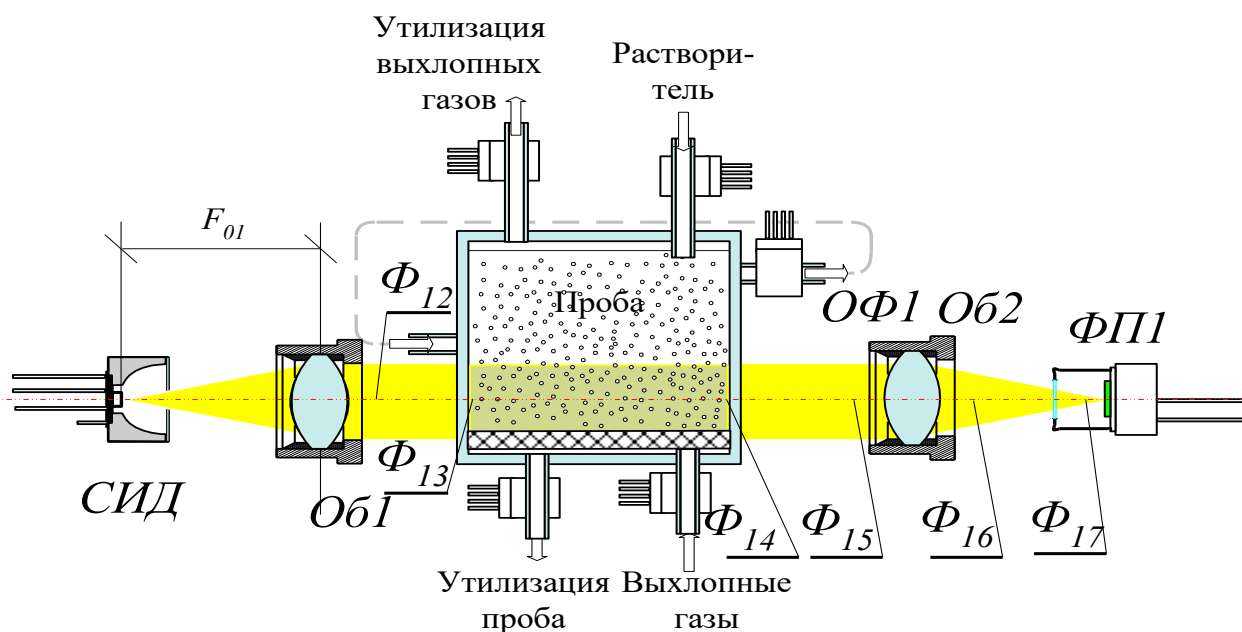


Рисунок 1 – Измерительный преобразователь

Для определения бенз(а)пирена, необходимо произвести концентрирование смеси до необходимого для фотометрирования уровня, так как искомая концентрация вещества в выбросах автомобильного транспорта крайне мала. Утилизация газа и пробы производится непосредственно из кюветы после измерения с помощью предназначенных каналов.

В результате выполнения работы, предполагается, что для фотометрирования выполняются три задачи одновременно: подготовка самой пробы и раствора, концентрирование и измерение.

Перечень ссылок

1. Аверин Г., Кишкань Р., Аверин Д., Звягинцева А. Доклад о состоянии окружающей природной среды города Донецка в 2006 – 2007 годах, Донецк, 2008. – 112 с.
2. Мажан М.В., Хламов М.Г. Измерение концентрации бенз(а)пирена в выбросах автомобильного транспорта, Сборник научных трудов конференции «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых» 2017г.
3. Волосникова Е.А., Гладилович Д.Б., Любченко И.Б., Майорова Н.А., Тишкова Н.А. Методические указания. Методы контроля. Химические факторы измерения массовой концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе и в воздухе рабочей зоны методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием, Санкт – Петербург, 2003.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛА ВИБРОДАТЧИКА ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ И МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Мазур М.Н., магистрант, Борисов А.А., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В статье представлены результаты исследования механизма вентилятора главного проветривания угольной шахты как источника вибрации, методов представления виброакустической информации, а также параметров и характеристик выходного сигнала вибродатчика.

Виброакустические методы диагностирования основаны на анализе вибрационных и акустических колебаний, возникающих при работе механизмов. Виброакустическая диагностика нашла широкое применение во многих отраслях народного хозяйства как высокоэффективный и универсальный метод диагностирования. Одним из существенных достоинств этого метода является отсутствие необходимости разборки диагностируемого узла.

1 Механизм вентилятора угольной шахты как источник-преобразователь вибросигнала

В каждый момент времени t состояние механизма вентилятора угольной шахты можно охарактеризовать набором диагностических признаков, $u_j^{(t)}$ (параметров виброакустического сигнала), для удобства представленного в векторном виде. Функционирующий механизм условно можно рассматривать как преобразователь A параметров его технического состояния Z_i на параметры виброакустического сигнала u_j :

$$U = AZ, \quad (1)$$

где $U = \{u_1^{(t)}, u_2^{(t)}, u_3^{(t)}, \dots, u_j^{(t)}\}$ - вектор признаков технического состояния в n -мерном пространстве признаков.

Задачей виброакустической диагностики фактически является получение обратной зависимости, когда на основе данных о виброакустическом сигнале необходимо сделать вывод о параметрах технического состояния объекта:

$$Z = A^{-1} \cdot U, \quad (2)$$

где A^{-1} - обратный оператор A .

В простейшем случае эта зависимость может быть функциональной, конкретный вид, которой устанавливается в период обучения, предшествующий этапу постановки диагноза:

$$Z_i = F_i(u_1, u_2, \dots, u_n), i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Эту систему функций можно рассматривать как отражение пространства технических состояний, заданного координатами Z_1, Z_2, \dots, Z_m , в пространство диагностических признаков с координатами u_1, u_2, \dots, u_n .

Практическая реализация решения приведенной системы уравнений осложнена громоздкостью вычислений, особенно в случае нелинейной зависимости. Чтобы избежать подобных осложнений, прибегают к расчленению агрегата на блоки и узлы, для каждого из которых складываются свои уравнения. Таким образом, в основе виброакустической диагностики заключается идея представления механизма в виде многоканальной системы связи, как показано на рисунке 1.

Источниками сообщений 1 (рис. 1) выступают кинематические пары. В момент соударения деталей они производят сигналы, в которых "закодирована информация об их состоянии. Устройства кодирования 2 служат те же кинематические пары. Сигналы в форме упругих волн поступают к датчику, установленному на механизме, где они

превращаются в переменное электрическое напряжение, которое поступает затем в блоки диагностической аппаратуры 5 для анализа. В этой схеме существенное значение имеет то, что и среда 3, по которой передаются сигналы, и датчик 4, который их принимает, единые для всех кинематических пар механизма. В процессе диагностирования информация подвергается постоянному воздействию помех. Чтобы отметить этот факт, на схеме изображён источник помех 6.

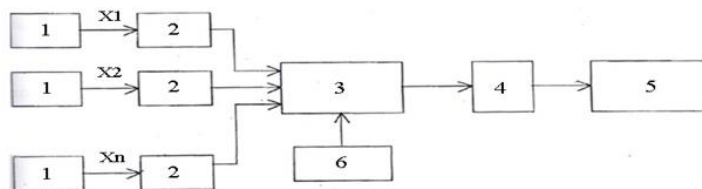


Рисунок 1 – Механизм вентилятора главного проветривания угольной шахты как многоканальная система связи

2 Представление виброакустического сигнала вентилятора главного проветривания угольной шахты полигармонической моделью

Существует огромное число механизмов циклического действия, в которых характер взаимодействия элементов подчинен периодическому закону, связанному с вращательным движением. К такого рода механизмам относятся роторные механизмы, где периодическое нарушение в наиболее простом виде проявляется как сумма гармонических составляющих, кратных основной частоте возмущения, то есть в виде полигармонического колебания:

$$y(t) = \sum_{k=1}^n a_k \cdot \cos(k \cdot \omega_0 \cdot t + \phi_k) \quad (4)$$

В роторных механизмах одной из основных частот возбуждения является оборотная (роторная) частота:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2 \cdot \pi} \quad (5)$$

Где ω_0 – угловая частота вращения.

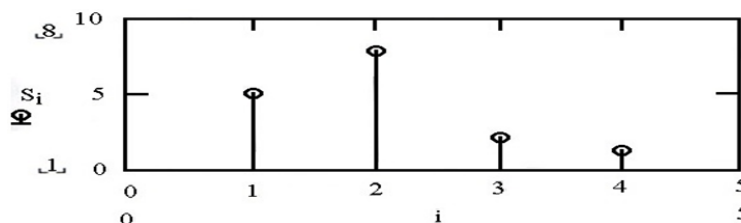


Рисунок 2 – Спектр полигармонического процесса

На установившихся режимах спектр колебаний дискретный с отсчетами в точках

$$\omega = k \omega_0 \quad (6)$$

$$S(\omega) = \sum_{k=1}^n A(k \cdot \omega_0) \cdot \delta(\omega - k \cdot \omega_0) \quad (7)$$

Здесь $A(k\omega_0) = a_k^{2/2}$ – амплитуда спектрального компонента на k -й гармонике частоты ω_0 , δ – дельта – функция Дирака. Информативными параметрами такой модели колебаний являются значения спектральных амплитуд $A(k\omega_0)$ и скорость их изменения при увеличении наработки механизма. Амплитуды колебаний на роторных частотах определяются зачастую величиной дисбаланса, несоосностью валов, кинематическими погрешностями.

Кроме оборотных частот в спектре акустического сигнала роторного механизма присутствуют такие характерные частоты, как

$$f_z = k \cdot (f_0 \cdot z) \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

где z – число элементов взаимодействия на окружности ротора.

Модель полигармонического возбуждения колебаний в роторных механизмах является удобной формой представления спектра колебательного процесса, что позволяет

сконцентрировать внимание исследователя лишь на определенных частотах $k f_B$, кратных основной частоте возбуждения колебаний f_B диагностируемого узла механизма. Первичный процесс локализации источников повышенной виброактивности конструкции механизма вентилятора угольной шахты состоит именно в выявлении потенциальных источников нарушения, вызывающие колебания на данной частоте.

3 Выходной сигнал вибродатчика, его свойства, параметры и характеристики

Выходной сигнал вибродатчиков может быть пропорционален величине виброперемещения (виброметры), виброскорости (велосиметры) и виброускорения (акселерометры). При измерении каждой из этих величин можно получить другие. Так для виброметра при дифференцировании виброперемещения получаем виброскорость, а при двойном дифференцировании получим виброускорение. В случае велосиметра путем интегрирования выходного сигнала датчика получим сигнал пропорциональный виброперемещению, а при дифференцировании - виброускорению. При использовании акселерометра сигнал пропорциональный виброскорости получается при интегрировании выходного сигнала, а виброперемещению - при двойном интегрировании.

$$S = S_M \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad \omega = 2 \cdot n \cdot f, \quad (9)$$

$$V = \omega \cdot S_M \cdot \sin(\omega t \cdot \phi v), \quad (10)$$

$$a = \omega^2 \cdot S_M \cdot \sin(\omega t \cdot \phi a) \quad (11)$$

Где a – виброускорение, V – виброскорость, S – виброперемещение.

Для своих исследований будем использовать сигнал виброскорости, поскольку он наилучшим образом отражает свойства объекта. Типичный вид такого аналогового сигнала представлен на рисунке 3.

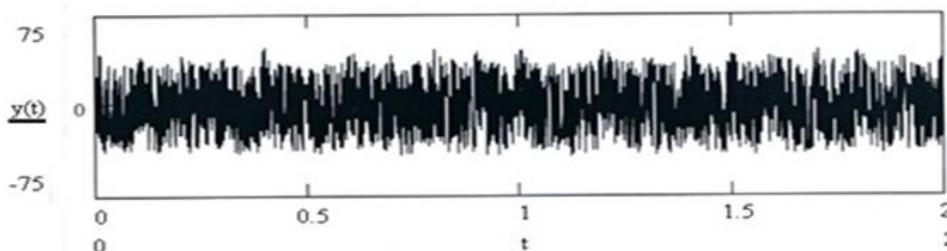


Рисунок 3 – Вид виброакустического сигнала

Поскольку вся дальнейшая обработка будет происходить с помощью ЭВМ необходимо сигнал дискретизировать по времени. Дискретизация представляет собой выборку отсчетов сигнала с постоянным (или переменным) шагом по времени Δt , называемым периодом дискретизации. Период дискретизации обратно пропорционален частоте дискретизации:

$$f_d = \frac{1}{T} \quad (12)$$

Перед дискретизацией выходной сигнал необходимо пропустить через фильтр нижних частот (ФНЧ) с частотой среза f_{cp} равной или немного большей верхней частоты исследуемого сигнала. Это делается, чтобы удалить из спектра сигнала высокочастотные гармоники, которые будут искажать спектр выходного сигнала при конечной частоте дискретизации.

Частоту дискретизации выберем по теореме Котельникова, по которой частота дискретизации должна быть хотя бы в 2 раза больше верхней частоты в спектре сигнала:

$$f_{\text{диск}} > 2 \cdot f_{cp} \quad (13)$$

Поскольку верхняя частота исследуемого сигнала в области средних частот определяется скоростью вращения ротора и числом кратных оборотной частоте гармоник, обычно порядка 10–20. Тогда для частоты вращения $n=600$ об/мин:

$$f_{об} = \frac{n}{60} \quad (13)$$

$$f_{об} = \frac{600}{60} = 10 \text{ Гц} \quad (14)$$

Отсюда частота дискретизации должна быть больше 400 Гц. Примем ее равной 500 Гц.

$$f_{диск} = 500 \text{ Гц} \quad (15)$$

Длина записи определяет степень различения пиков в преобразовании Фурье. В такой способ для разделения двух пиков на частотах f_1 и f_2 длина записи T должна удовлетворять условию:

$$T \geq \frac{1}{f_1 - f_2} \quad (16)$$

Таким образом $T = 1$ с будет достаточно для разрешения в 1 Гц.

На рисунке 4 представлена реализация дискретизированного вибросигнала.

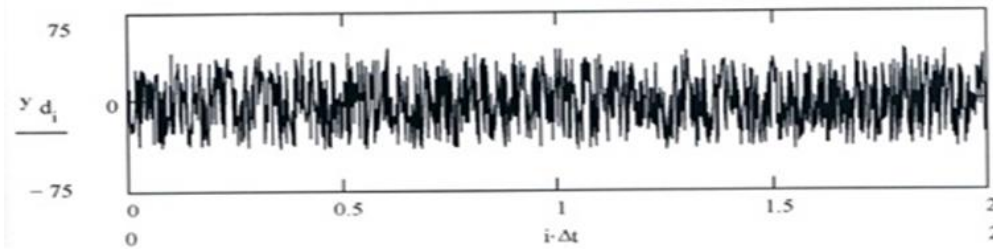


Рисунок 4 – Дискретизированный вибросигнал

Для исследований будем брать стационарный и эргодичный сигнал. Поскольку сигнал стационарный для него справедлива спектрально-корреляционная теория, а эргодичность позволит провести исследования по одной временной реализации.

Вычислим амплитудный спектр вибросигнала. Поскольку реально используется конечная длина сигнала, то спектр получится бесконечным, но максимальное число гармоник, равное половине количества отсчетов, используемых при ДПФ.

Используя аппарат дискретного преобразования Фурье в комплексной области:

$$X(e^{i\omega T}) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT)e^{-in\omega T}, \quad (17)$$

Или в действительной форме:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_i y_i \cdot \cos(k \cdot i \cdot \frac{2\pi}{N}) \quad (18)$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_i y_i \cdot \sin(k \cdot i \cdot \frac{2\pi}{N}) \quad (19)$$

$$c_k = \sqrt{(a_k)^2 + (b_k)^2} \quad (20)$$

где N – число отсчетов реализации используемых для ДПФ, i – номер отсчета, k – номер гармоники, c – амплитуды гармоник.

Спектр сигнала изображен на рисунке 5.

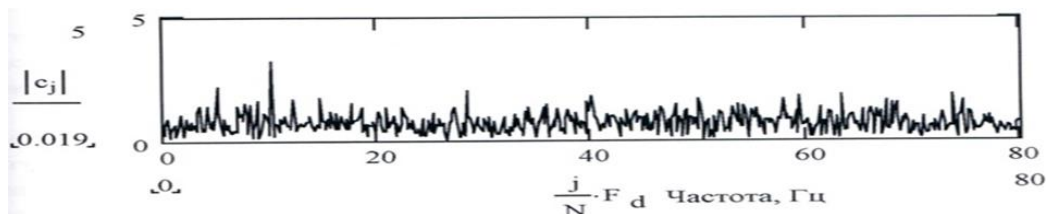


Рисунок 5 – Амплитудный спектр вибросигнала

На графике наблюдается пик на частоте около 10 Гц. Эта частота соответствует оборотам вала – 600 об/мин. Наличие этого частотного пика в спектре сигнала вибродатчика говорит об ударах, происходящих на каждом обороте вала. Для выявления основного источника биения на валовой частоте необходимо установить датчики рядом с подшипниками вала и сравнить полученные спектры. Также необходимо сравнивать спектры сигналов с контрольных датчиков сервисных механизмов, которые расположены на опорах, чтобы убедиться в том, что сигнал на 10 Гц не является приведенным от других механизмов.

Также имеет место гармоника примерно равная половине оборотной частоты, это маслянная субгармоника. Вдоль всей оси частот распределена шумовая составляющая спектра. На рисунке 5 представлен спектр исправного механизма, для такого механизма на оборотной частоте сосредоточено менее 50% мощности сигнала.

Спектрограмма построена с длиной окна Блэкмана 512 точек по методу быстрого преобразования Фурье, по оси у отложена частота в линейном масштабе, длина реализации 6 с, большие значения сигнала показаны светлым, меньшие – темным.

При использовании аппарата дискретного преобразования Фурье (ДПФ) всегда выходной сигнал ограничен во времени. Эффективным методом является использование так называемых весовых окон. Суть использования окна состоит в обуживании сигнала с помощью функции плавно ниспадающей по краям (весового окна), то есть локализация сигнала во временной области. Это приводит к ослаблению эффектов связанных с возникновением скачков сигнала при периодическом повторении анализируемой конечной последовательности и таким образом к уменьшению растекания спектра. При выборе конкретного окна традиционно используют два показателя:

- 1) ширина полосы частот главного лепестка спектра окна (позволяет судить о частотном разрешении);
- 2) максимальный уровень боковых лепестков (который позволяет судить о том насколько хорошо окно подавляет просачивание).

Таблица 1 – Аналитические выражения для весовых функций

Окно	Формула
Окно Ханна	$G_i := 0.5 - 0.5 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i}{n-1}\right)$
Окно Блэкмана	$G_i := 0.42 - 0.5 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i}{n-1}\right) + 0.08 \cdot \cos\left(4 \cdot \pi \cdot \frac{i}{n-1}\right)$
Окно Хэмминга	$G_i := 0.54 - 0.46 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i}{n-1}\right)$
Треугольное окно	$G_i := 1 - \left \frac{2 \cdot i}{n-1} - 1 \right $

Мы используем окно Блэкмана изображённое на рисунке 6, т. к. он имеет один из лучших коэффициентов подавления боковых лепестков.

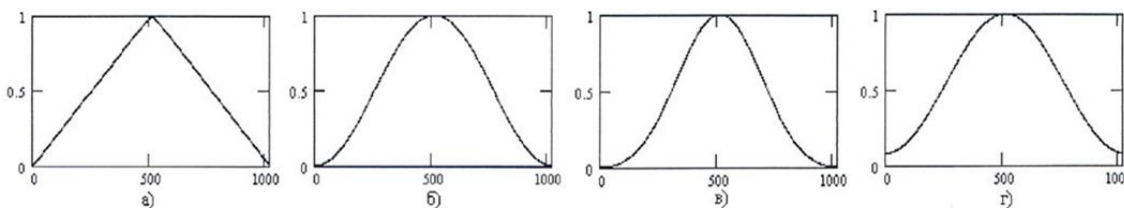


Рисунок 6 – Временные функции окон: а) треугольное, б) Ханна, в) Блэкмана, г) Хэмминга

Вывод.

Проведено исследование механизма вентилятора главного проветривания угольной шахты как источника вибрации. Представлена полигармоническая модель виброакустического сигнала шахтного вентилятора главного проветривания. Рассмотрен виброакустический сигнал, его свойства, параметры и характеристики. Приведены аналитические выражения для весовых функций и типичные временные функции окон.

Перечень ссылок

1. Балицкий Ф. Я., Генкин М. Д. Виброакустические процессы в машинах и присоединенных конструкциях. – М.: Машиностроение, 1974. – 182 с.
2. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф. Я. Балицкий, М.
3. Артоболевский Й. Й., Бобровницкий Ю. Й., Генкин М. Д. Введение в акустическую динамику машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 296 с.

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Москаленко Д.С., магистрант.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, ДНР»)

Одним из важнейших параметров переменного напряжения является его действующее значение. Измерение действующего значения переменного напряжения – актуальная и непростая задача, прежде всего потому, что чаще всего приходится измерять не чисто синусоидальное напряжение, а нечто более сложное, усложнённое наличием гармоник и шумов. Простое решение с детектором среднего значения с пересчетом в среднеквадратическое значение не работает там, где форма сигнала сильно отличается от синусоидальной или просто неизвестна.

Профессиональные вольтметры среднеквадратического значения - это достаточно сложные устройства как по схемотехнике, так и по алгоритмам. В большинстве измерителей, которые носят вспомогательный характер и служат для контроля функционирования, такие сложности и точности не требуются. Однако требуется, чтобы измеритель мог быть собран из доступной элементной базы на простом 8-битном микроконтроллере.

Целью работы является разработка и исследование способа измерения действующего значения напряжения с использованием доступной элементной базы и бюджетного 8-битного микроконтроллера.

Действующее напряжение является интегральной характеристикой переменного напряжения, характеризующей его мощность

$$U_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt},$$

где $u(t)$ – мгновенное значение напряжения в момент времени t , T – период измеряемого напряжения.

После дискретизации получим

$$U_D = \sqrt{\frac{\Delta t}{N} \sum_{i=1}^N u_i^2} = k \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2},$$

где Δt – период дискретизации, N – число точек дискретизации, k – масштабный коэффициент.

При численном интегрировании для вычисления подинтегрального выражения необходимо проквантовать сигнал с некоторой частотой, заведомо превосходящей не менее, чем в 10 раз частоту квазисинусоиды. При измерении сигналов с частотами в пределах 20 кГц это не представляет проблемы даже для 8-битных микроконтроллеров.

Однако необходимо учесть, что все стандартные контроллеры имеют однополярное питание. Поэтому измерить мгновенное переменное напряжение в момент отрицательной полуволны не представляется возможным.

Еще одним важным моментом является то, что для обеспечения высокой точности измерений необходимо определять моменты, когда стоит начать или закончить процесс кантования измерительного напряжения.

В работе [1] предложено оригинальное схемное решение, позволяющее добавить постоянную составляющую в сигнал, и, вместе с тем, определить момент, когда стоит начать процесс измерений и вычисления действующего значения.

Рассмотрим особенности аналоговой части измерителя, приведенной на рисунке 1. Измерительный сигнал поступает через конденсатор $C1$ на усилитель-формирователь, собранный на операционном усилителе DA1:A. Сигнал переменного напряжения смещается на неинвертирующем входе усилителя с половиной напряжения питания.

С выхода усилителя-формирователя через интегрирующую цепочку $R3$, $C2$ сигнал поступает на вход АЦП, который служит для измерения постоянной составляющей сигнала ($U0$). С выхода усилителя-формирователя снимается измеряемый сигнал U , сдвинутый на половину напряжения питания. Таким образом, чтобы получить переменную составляющую, достаточно вычислить разность $U - U0$.

Сигнал $U0$ используется также в качестве опорного для компаратора DA1:B. При переходе напряжения U через значение $U0$ компаратор вырабатывает перепад, который используется для формирования процедуры прерывания для сбора измерительных отсчетов.

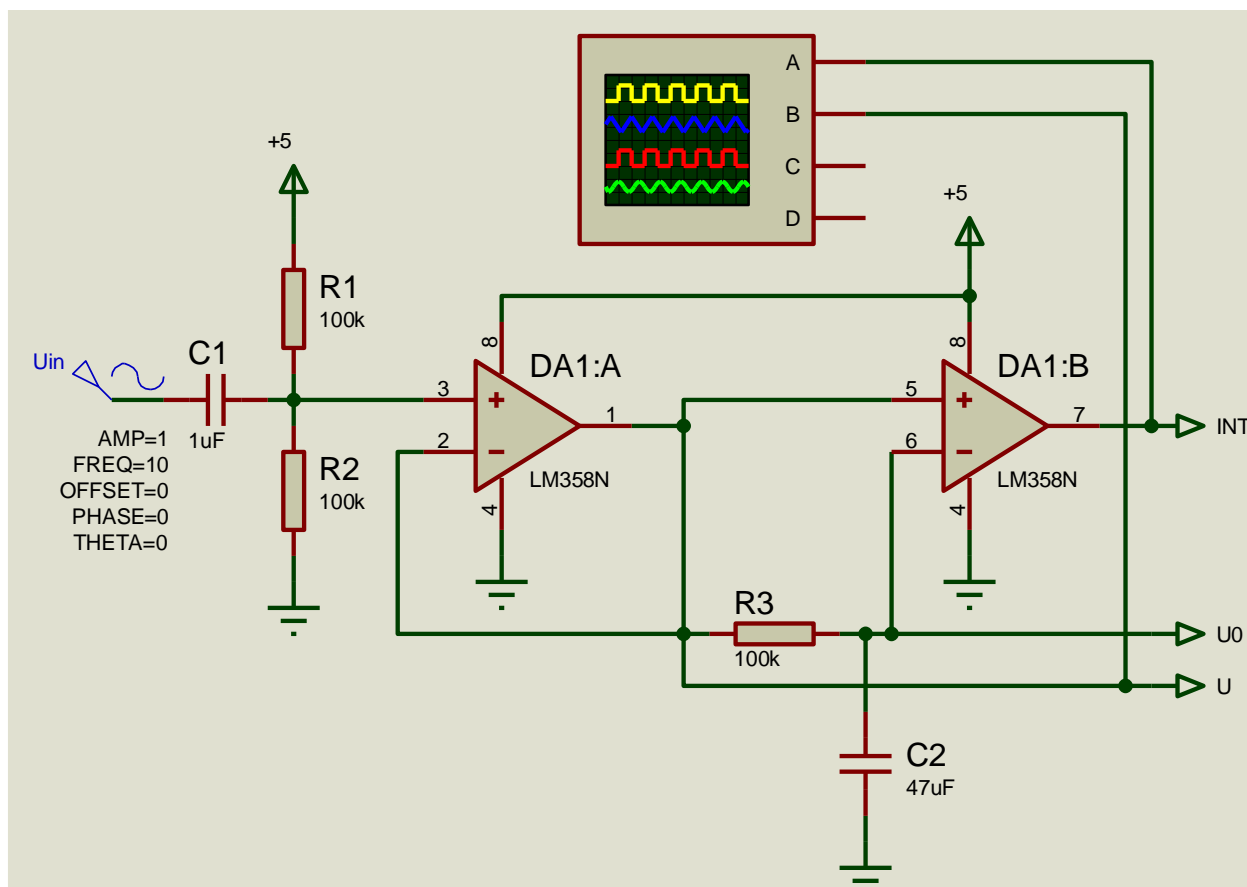


Рисунок 1 – Аналоговая часть измерителя действующего значения напряжения

На рисунке 2 представлен алгоритм измерения действующего напряжения с использованием описанной выше аналоговой части и 8-битного микроконтроллера Arduino.

После запуска контроллер переходит в ожидание положительного перепада на выходе компаратора. Как только прерывание по перепаду наступает, контроллер делает выборку из 20 точек с временным шагом, соответствующим $1/20$ квазипериода.

Путем имитационного моделирования в пакете Proteus ISIS схемы и программы для микроконтроллера были сняты осциллограммы выходных напряжений и определен неизвестный масштабный коэффициент $k = 0,00162$. Так же была исследована зависимость погрешности измерений действующего напряжения от нестабильности частоты измерительного сигнала. В результате получили, что при изменении частоты сигнала на 1%, относительная погрешность измерений напряжения возрастает на 0,4 %.

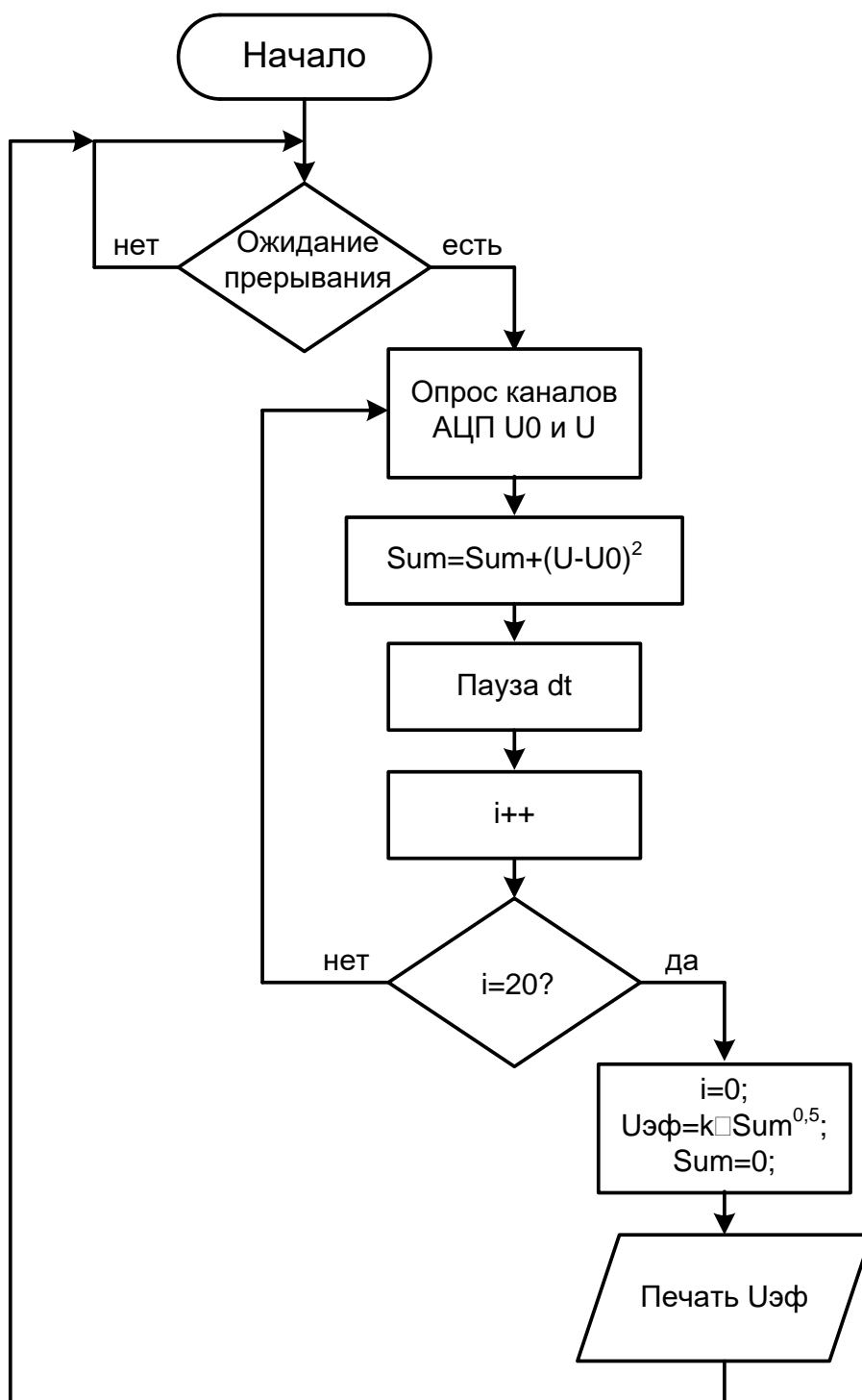


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма вычисления действующего значения напряжения

Предложенный способ измерений действующего значения напряжения с применением микроконтроллера отличается от уже известных простотой схемных решений и доступностью в реализации предложенного алгоритма численного интегрирования.

Перечень ссылок

1. Бюджетный вариант измерения TrueRMS: <https://habr.com/ru/post/321008/> (Дата доступа: 22.04.2019).
2. Цифровой вольтметр: <http://ru-patent.info/20/10-14/2011995.html> (Дата доступа: 22.04.2019).

КОМПЬЮТЕРНАЯ БЕЗМЕДИКАМЕНТОЗНАЯ ТЕРАПИЯ – ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА

Пигуз В.Н. – заведующий отделом КИТ; **Ивашко К.С.** – ведущий специалист отдела КИТ; **Изосимова С.А.** – специалист по информационным технологиям отдела КИТ
(Государственное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк, ДНР)

«Кто владеет информацией, тот владеет миром» - фраза, авторство которой приписывают Рокфеллерам, сегодня звучит актуально, как никогда. Эта фраза работает и в отношении медицины. Ведь информация о состоянии человеческого организма, вовремя собранная и отданная врачу, может спасти жизнь и способствовать более эффективному лечению болезни.

Ранее сбор информации о состоянии человеческого организма, последующая диагностика и лечение на основании этих данных были обязанностью врачей. Однако, разработанная на базе Государственного учреждения «Институт проблем искусственного интеллекта» в отделе теоретических исследований в области искусственного интеллекта (ТИОИИ) комплексная компьютерная система психофизиологического диагностирования, интеллектуально-духовной реабилитации и безмедикаментозной терапии (СИДРТ) придает этому процессу значительно более широкие технологические рамки.

При научно-исследовательском процессе создания данной разработки использовались следующие методы и приемы:

- прием личностного тестирования: тест ДДЧ, ТАТ: П, ТАТ: С;
- метод опроса (создание соответствующих опросников);
- метод беседы;
- методика изучения и диагностирования психофизиологических состояний (ПФС);
- методика психологического тестирования и тестов определения индивидуальной асимметрии мозга.

Особое внимание уделяется анализу использования психологического метода образно-зрительной метафоры (тесты ДДЧ, ТАТ: П, ТАТ: С) и обработке его результатов.

Благодаря индивидуальному и коллективному использованию разработки успешно решается комплекс задач социально-психологического плана:

- определение базиса необходимых для всестороннего анализа личности на разных этапах развития психологических тестов и психофизиологического диагностирования в целом;
- обозначение психологических тестов, делающих наиболее продуктивным и оптимальным процесс социальной адаптации личности в условиях современного общества;
- создание многофакторных информационных баз, обработка которых посредством компьютерных технологий позволяет оперативно диагностировать психофизиологическое состояние личности, определение ведущего полушария мозга, самооценки доминирующего эмоционального состояния, интеллектуально-духовной реабилитации (ИДР) и т.п.

Рассматривая безмедикаментозное психологическое тестирование в более конкретном плане, необходимо отметить, что как для детей дошкольного, младшего, среднего и старшего школьного возраста, так и для взрослого, реализовавшего себя в профессиональном и личностном плане, человека, наиболее характерным является визуальное восприятие и познание человеком окружающей среды и человеческого сообщества в целом. Индивидуум может приходиться к определенным выводам и усваивать их, применять на практике, исключительно на базе своего собственного жизненного опыта. То есть тех событий, которые человек пережил лично. Поэтому психологические тесты, оценивающие особенности развития личности, ориентированы прежде всего на визуальное восприятие

информации и личностный базис опыта каждого конкретного человека. Так называемую «зрительно-образную метафору». К этому направлению психологического исследования личности относится визуально-образный тест ДДЧ (дом-дерево-человек) (рис. 1 а, б).



Рисунок 1 а – Пример выполнения визуально-образного теста ДДЧ [1]



Рисунок 1 б – Пример выполнения визуально-образного теста ДДЧ [2]

Впервые его использование и толкование в 1948 г. предложил исследователь-психолог Дж. Бук. В дальнейшем данную систему психологического исследования личности активно использовал в своей рабочей практике Р. Берне. Он же расширил методику трактования основных элементов данного теста. При этом большую роль играют не только сами составляющие композиции – дом-дерево-человек, но и метод их расположения, а также размер каждой отдельной детали.

Так монохромный, одноцветный рисунок, а также его острые, прерывистые линии и углы символизируют внутреннюю тревогу, неуверенность в себе и необходимость защиты. Тогда как яркие красочные рисунки являются наглядным свидетельством того, что человек уверен в себе, своих силах, завтрашнем дне и твердо стоит на ногах.

Другим наиболее перспективным путем исследования особенностей и реакций человеческой личности в условиях выбора является проективная психодиагностика – методика «ТАТ: Профессия» (сокращенно: ТАТ: П). Основанная на использовании ассоциативных образно-зрительных карт, в количестве 30 штук. Разработанная и впервые использованная в 2012 году, данная методика в последующие годы доказала целесообразность своего практического использования (рис. 2).

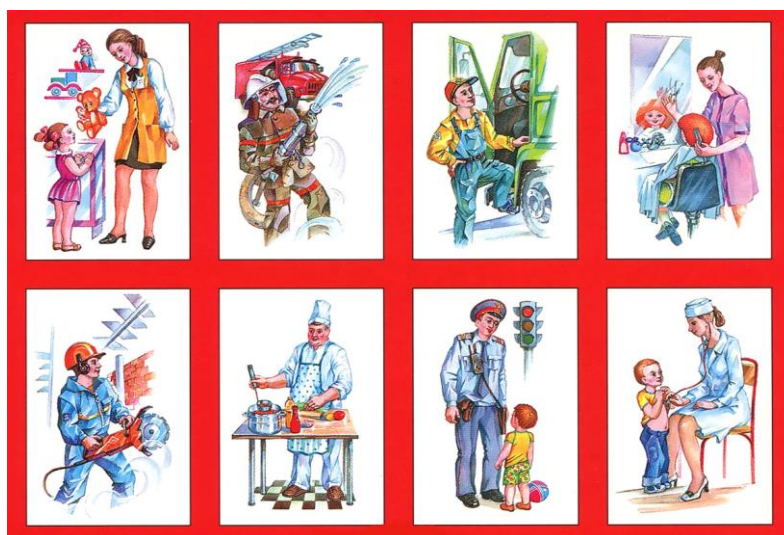


Рисунок 2 – Карточки (ориентировочный пример) для проведения теста

TAT: Профессия (TAT: П) [3]

Разработка ГУ ИПИИ «Компьютерная система психофизиологического диагностирования, интеллектуально-духовной реабилитации и безмедикаментозной терапии (СИДРТ) представляет собой комплекс методик и программных средств их реализации, предназначенный для диагностирования психофизиологических состояний человека, восстановления или реабилитации его интеллектуально-духовной жизни и безмедикаментозной терапии психоэмоциональных состояний» (рис. 3) [2, с. 12]. Использование комплекса позволяет за минимальный временной отрезок получить наиболее вероятные результаты и спрогнозировать методику дальнейшего лечения и коррекции психофизиологического состояния личности в каждом конкретном случае использования (как в индивидуальном, так и коллективном планах).

Система интеллектуально-духовной реабилитации - 2006

Назад Инструкция Главная Вперед

Методика САН (самочувствие, активность, настроение)

Самочувствие	Значительно	Средне	Слабо	Вовсе нет	Слабо	Средне	Значительно	Самочувствие
Самочувствие хорошее	+							Самочувствие плохое
Чувствую себя сильным		+						Чувствую себя слабым
Пассивный			+					Активный
Малоподвижный				+				Подвижный
Веселый					+			Грустный
Хорошее настроение						+		Плохое настроение
Работоспособный							+	Разбитый
Полный сил							+	Обессиленный

РЕЗУЛЬТАТЫ

СПРАВКА ОПРОСНИКИ ТЕСТ ЛЮШЕРА ТЕРАПИЯ О ПРОЕКТЕ

Рисунок 3 – Окно программы с выбранной методикой тестирования [4, с. 12]

Таким образом, приходим к следующему выводу – психологическое тестирование не утрачивает своей актуальности на всех возрастных этапах развития и формирования личности человека: начальная, средняя и старшая школа; коррекция социологического поведения и психологического состояния взрослого человека, получившего образование (специальность) и реализовавшего полученные навыки на профессиональном уровне.

Этот момент наглядно подтверждает тот факт, что психологическое тестирование представляет собой органичное единство социологии, биологии и психологии. Своевременное использование и трактование проективных психологически-образных тестов позволяет не только максимально облегчить процесс адаптации для каждого конкретного человека, но спрогнозировать линию его поведения при возникновении чрезвычайной ситуации. Что позволит избежать возможных ошибок и негативных последствий и активизировать исключительно природные силы организма, основываясь на немедикаментозных методах лечения и коррекции психофизиологического состояния личности.

Данная методика может использоваться как в учебных заведениях: среднего начального, высшего, специального профессионального и проч. плана, так и в разноплановых общественных организациях и учреждениях.

Отдельного внимания заслуживает и тот факт, что разработка инновационного алгоритмического и программного обеспечения комплексной компьютерной системы позволит любому пользователю, даже непрофессионально владеющему компьютером, при необходимости выявлять или диагностировать, а впоследствии – корректировать собственное психофизиологическое состояние [5]. Что, в свою очередь, является прекрасным прецедентом для последующей компьютеризации общества в целом и создании систем искусственного интеллекта в частности.

Перечень ссылок

1. Сальников Р.И. Разработка и построение комплексной компьютерной системы психофизиологического диагностирования, интеллектуально-духовной реабилитации и безмедикаментозной терапии [Текст] / А. И. Шевченко, Р. И. Сальников, А. В. Дьяченко // Искусственный интеллект. – 2007. – № 3. – С. 6–16.
2. Столяренко А.С. Социальная психология [Текст] / Столяренко А. С. – М.: Знание, 2004. – 485 с.
3. Пузиков А.П. Психология [Текст] / Пузиков А. П. – М., 2007 г. – 286 с.
4. Сальников И.С. Современные методы и методики изучения и диагностирования интеллектуально-психофизических состояний человека и способы их компьютерной аудиовизуальной терапии [Текст] / И.С. Сальников, Р.И. Сальников // Искусственный интеллект. – 2006. – № 4. – С. 548-554.
5. Сальников И.С. Актуальная проблематика фундаментальных и прикладных исследований в области компьютерных технологий [Текст] / И.С. Сальников // Международный научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта» International Peer-Reviewed Scientific Journal «Problems of Artificial Intelligence» ISSN 2413-7383. – 2018. – № 3 (10). – С. 3–13.

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА В ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Попов С.В., магистрант; Лыков А.Г., ст. преп.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Выхлопные газы автомобильного транспорта являются основным источником токсичных веществ двигателя внутреннего сгорания и представляют собой неоднородную смесь различных газообразных веществ с разнообразными химическими и физическими свойствами, состоящую из продуктов полного и неполного сгорания топлива, избыточного воздуха, аэрозолей и различных микропримесей (как газообразных, так и в виде жидких и твердых частиц), поступающих из цилиндров двигателей в его выпускную систему. В своем составе они содержат около 300 веществ, большинство из которых токсичны.

Экологические стандарты (нормы "Евро"), применяемые в европейских странах, регламентируют содержание в выхлопных газах новых автомобилей углеводородов, оксидов азота, оксида углерода (угарного газа) и твердых частиц. Каждая новая редакция экологических стандартов повышает требования к составу выхлопных газов как новых, так и находящихся в эксплуатации автомобилей, что в свою очередь приводит к снижению предельно допустимых концентраций (ПДК) токсичных составляющих в выхлопе. Это приводит к повышению требований к системам и устройствам измерения и анализа содержания составляющих выхлопных газов автомобильного транспорта.

Одной из важных составляющих выхлопных газов автомобильного транспорта является оксид углерода, предельно допустимая концентрация которого регламентируется соответствующими стандартами. Так для автомобилей без нейтрализаторов предельно допустимая концентрация СО составляет 3,5^{об.%}, для автомобилей с однокомпонентными нейтрализаторами – 1,0^{об.%}, для автомобилей с трехкомпонентными нейтрализаторами – 0,5^{об.%}. При этом основная абсолютная погрешность газоанализаторов оксида углерода для диапазона измерений для диапазона от 0 до 5^{об.%} не должна превышать ±0,2^{об.%}, а для диапазона от 0 до 1^{об.%} – ±0,05^{об.%} [1].

Для определения содержания оксида углерода стандартами рекомендуется использовать газоанализаторы непрерывного действия, работающие по методу инфракрасной спектроскопии. Суть данного метода заключается в том, что молекулы каждого газа представляют собой колебательную систему, способную поглощать инфракрасное излучение в строго определенном диапазоне волн – спектр поглощения (для каждого газа индивидуален). Количественное соотношение между концентрацией определяемого компонента и ослаблением интенсивности излучения устанавливается законом Ламберта-Бэра [2]:

$$I = I_0 \cdot \exp(-k_1 \cdot l) = I_0 \cdot \exp(-k(\lambda) \cdot l \cdot C), \quad (1)$$

где I – интенсивность оптического излучения после прохождения через слой вещества; I_0 – первоначальная интенсивность оптического излучения; k_1 – коэффициент поглощения; l – толщина анализируемого слоя; $k(\lambda)$ – коэффициент, зависящий от длины волны излучения; C – концентрация составляющей газовой смеси.

Для формирования оптического излучения, соответствующего спектру поглощения оксида углерода и имеющего центральную длину волны в районе 4.6 мкм, могут быть использованы светоизлучающие диоды и лазерные диоды. Преимуществами лазерных диодов по отношению к светоизлучающим являются:

- повышенная оптическая мощность, что особенно актуально при малых концентрациях для повышения чувствительности;

- более узкая диаграмма направленности излучения, что увеличивает коэффициент ввода излучения в приемник и, как следствие, повышает уровень информационного сигнала;
- увеличенное соотношение сигнал-шум, что влияет на погрешность измерения необходимой газовой составляющей.

Таким образом, в качестве источника излучения предлагается использовать инфракрасный лазерный диод. При этом наилучшими мощностными показателями обладают одномодовые лазерные диоды, однако их ширина спектра излучения настолько мала, что фактически перекрывает лишь одну из вращательных линий спектра поглощения оксида углерода. Это обуславливает необходимость очень точной настройки лазерного диода на спектр поглощения оксида углерода. Изменение внешних факторов, таких как температура, приводит к смещению спектра излучения лазерного диода и увеличению погрешности измерения концентрации оксида углерода. В плане повышения точности измерения в данном случае лучше подходят многомодовые лазерные диоды.

Для обеспечения стабильной работы лазерного диода, в частности, для поддержания постоянной интенсивности излучения, в составе электронной системы следует использовать источник постоянного тока.

Для проведения измерений выхлопные газы концентрируются в заданном объеме за счет использования измерительной кюветы. В этом случае коэффициент пропускания кюветы описывается выражением [3]:

$$K_{\text{ИК}}(\lambda, C_{\text{об}}, l) = \exp(-K(\lambda) \cdot \frac{C_{\text{об}} \cdot P}{R \cdot T} \cdot 10^{-6} \cdot l), \quad (2)$$

где $k(\lambda)$ – математическая модель спектра поглощения оксида углерода; $C_{\text{об}}$ – объемная концентрация угарного газа; P – атмосферное давление; T – абсолютная температура газовой смеси; R – универсальная газовая постоянная; l – длина измерительной кюветы.

Используя математическое описание спектра излучения многомодового лазерного диода $S_{\text{лд}}(\lambda)$, можно определить оптический сигнал на выходе кюветы:

$$S_{\text{выхИК}}(\lambda, C_{\text{об}}, l) = S_{\text{лд}}(\lambda) \cdot K_{\text{ИК}}(\lambda, C_{\text{об}}, l). \quad (3)$$

Интенсивность оптического излучения после прохождения через заданный объем выхлопных газов предлагается воспринимать тепловым приемником, который преобразует инфракрасное излучение в электрический сигнал напряжения.

Оптическая мощность инфракрасного излучения на входе теплового приемника описывается выражением:

$$P_{\text{опт_выхТП}}(\lambda, C_{\text{об}}, l) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\text{выхИК}}(\lambda, C_{\text{об}}, l) d\lambda. \quad (4)$$

Использование тепловых приемников, чувствительных к длинам волн от 0,3 мкм до 20 мкм, позволяет расширить спектральный диапазон в сторону длинноволновой области, что при необходимости позволит определять концентрации других составляющих выхлопных газов без существенного изменения схемотехники измерительной части устройства (достаточно поменять тип лазерного диода). Кроме того повышается надежность устройства, вследствие большого срока службы тепловых приемников и высокой лучевой стойкости по сравнению с фотоприемниками.

Таким образом, выходной сигнал теплового приемника является мерой концентрации оксида углерода в выхлопных газах автомобильного транспорта.

Для приведения выходного сигнала теплового приемника ко входному формату цифровой части необходимо использовать усилитель сигнала. Для уменьшения уровня шумов на выходе усилителя ставится низкочастотный фильтр с частотой среза единицы Гц.

Поскольку температура в выхлопе колеблется в значительных пределах, а характеристики лазерного диода зависят от температуры, то ее изменение будет существенно

увеличивать погрешность измерения концентрации оксида углерода. Для уменьшения влияния температуры на результат измерения в состав системы предлагается ввести сравнительную кювету. Изменение температуры будет вносить одинаковый вклад в погрешность измерения концентрации как в измерительной, так и в сравнительной кюветах. Определив изменение концентрации в сравнительной кювете в сравнении с известным значением, можно внести коррекцию в результат измерения концентрации оксида углерода.

Таким образом, в составе электронной системы предлагается использовать два измерительных канала:

- рабочий – для определения концентрации оксида углерода в выхлопе;
- образцовый – для устранения влияния внешних факторов на результат измерения концентрации оксида углерода.

Для обработки сигналов от измерительных каналов в составе электронной системы используется микропроцессорный блок, основными функциями которого являются:

- считывание значений с выходов измерительных каналов;
- определение концентрации оксида углерода в выхлопе;
- сохранение измеренных значений;
- передача данных на персональный компьютер;
- сигнализация о превышении предельно-допустимой концентрации.

Таким образом, разработанная структурная схема измерения концентрации оксида углерода в выхлопных газах автомобильного транспорта представлена на рисунке 1.

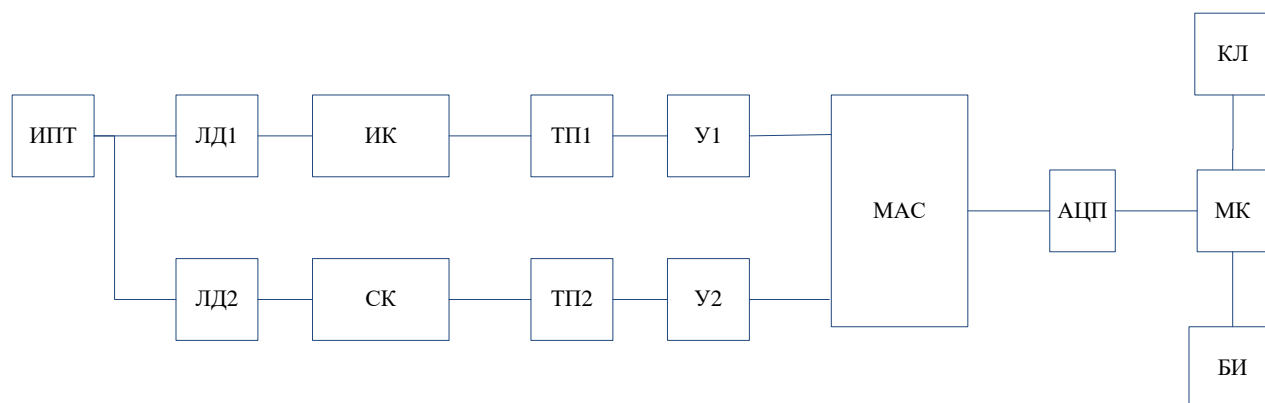


Рисунок 1 – Структурная схема измерения концентрации оксида углерода в выхлопных газах автомобильного транспорта

На рисунке 1 приведены:

ИПТ – источник постоянного тока; ЛД1 и ЛД2 – многомодовые лазерные диоды; ИК и СК – измерительная и сравнительная кюветы; ТП1 и ТП2 – тепловые приемники; У1 и У2 – усилители с фильтром; МАС – мультиплексор аналоговых сигналов; АЦП - аналогово-цифровой преобразователь; МК– микроконтроллер; Кл – клавиатура; БИ – блок индикации.

Перечень ссылок

1. Норми і методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі: ДСТУ 4277:2004. – [Чинний від 2004-01-31]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 12 с.
2. Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение/ П.И. Бреслер. – Л.: Энергия, 1980. – 164 с.
3. Вовна А.В. Математическая модель оптического тракта измерителя концентрации угарного газа/ А.В. Вовна, А.А. Зори, А.Г. Лыков, М.Г. Хламов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Обчислювальна техніка та автоматизація”. – Донецьк, 2010. – Випуск 18(169). – С. 34 – 38.

УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ САХАРНОГО СИРОПА ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ПОСТОЯННОГО УРОВНЯ

Татен П.В., магистрант; Корнев В.Д., доц. к.т.н.

(ГОУ ВПО Донецкий национальный технический университет, г. Донецк ДНР)

Производство кондитерских изделий является одной из самых развитых отраслей пищевой промышленности. Карамель по объему производства занимает одно из первых мест среди кондитерских изделий. Для выпуска карамели высокого качества с минимальными затратами сырья и энергоносителей необходимо в течение всего технологического процесса приготовления сахарного сиропа осуществлять его постоянный теххимический контроль.

Основными контролируемыми параметрами являются процентное содержание сахара в сиропе, температура сиропа, продолжительность обработки, вязкость сиропа.

Процентное содержание сахара (концентрацию сахарозы) в карамельной массе можно определить косвенным методом по результатам измерений плотности и температуры раствора.

Работа устройства измерения плотности сиропа (рис.1) основана на измерении разности давлений в сиропе и преобразования его в пропорциональный электрический сигнал.

Принцип измерения следующий: исследуемый раствор находится в емкости 1, в которой поддерживается примерно постоянный уровень (что принципиально не обязательно). Газ, поступающий по трубкам 2 и 3, барботирует через исследуемый раствор и выходит в атмосферу. Одновременно давление газа в трубках 2 и 3 подается на два входа измерительного преобразователя разности давлений (ИПРД) 4. Таким образом, с помощью двух трубок разной длины и ИПРД осуществляется измерение перепада давления P , обусловленного разностью уровней $h=h_1-h_2$. Перепад давления P и плотность раствора связаны между собой зависимостью:

$$P = \rho_x \cdot g \cdot h$$

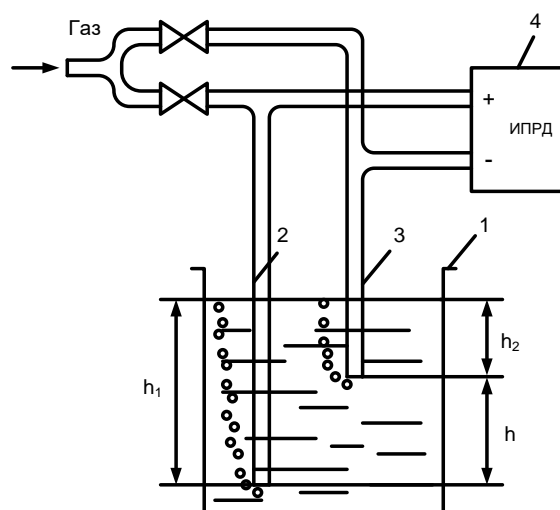


Рисунок 1 — Схема гидростатического плотномера

Для повышения точности гидростатического метода измерения плотности может обеспечить схема построения плотномера, в которой верхний предел измерения разности давлений использованного ИПРД равен или незначительно превышает диапазон изменения измеряемой разности давлений при изменении плотности сиропа (рис 2).

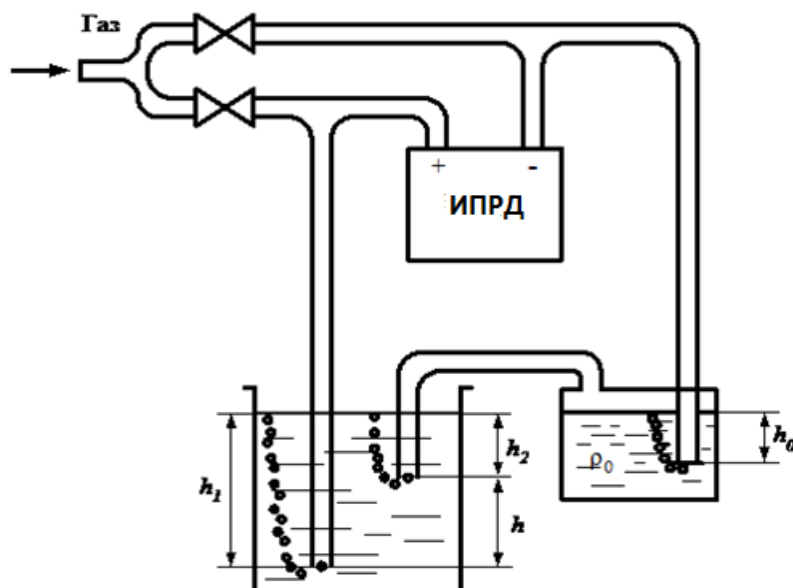


Рисунок 2 - Схема гидростатического плотномера с компенсацией постоянного уровня

В этой схеме разница давления, которое измеряется ИПРД, равняется

$$P = \rho_x \cdot g \cdot h - \rho_0 \cdot g \cdot h_0,$$

где ρ_x - плотность контролируемого сахарного раствора

ρ_0 - плотность эталонной жидкости ($\rho_0 = \text{const}$).

Выбором эталонной жидкости (ее плотность ρ_0 и высота h_0) в этой схеме измерения можно обеспечить:

$$P = \rho_x \cdot g \cdot h - \rho_0 \cdot g \cdot h_0 = 0.$$

Если принять:

$$\rho_x = \rho_{\min} + \Delta\rho(4)$$

то изменение разницы давления, обусловленного изменением плотности сахарного раствора, будет:

$$\Delta P = \Delta\rho \cdot g \cdot h$$

В данной схеме ИПРД может иметь верхнюю границу измерения разницы давления:

$$P_{\max} = \Delta P_{\max} = \Delta\rho_{\max} \cdot g \cdot h.$$

Известны табулированные зависимости [1,2] плотности сахарного раствора « ρ » от концентрации «С» и его температуры «Т». Из таблицы имеем $\Delta\rho_{\max} = 0,30 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$, $g = 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$, $h=0,1$ м, то

$$P_{\max} = 0,30 \frac{\Gamma}{\text{см}^3} \cdot 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 0,1 \text{ м} = 300 \text{ Па} = 0,30 \text{ кПа}.$$

Для измерения $P_{\max}=0,30$ кПа можно использовать МЕТРАН модели 150CG с верхней границей измерения 0,4 кПа (рис 3).



Рисунок 3 - Измерительный преобразователь разности давления МЕТРАН 150

Наиболее точный преобразователь этого типа имеет предел допускаемой приведенной погрешности $\gamma_p = \pm 0,1\%$, т.е. предельное значение абсолютной погрешности измерения разности давлений равно:

$$\Delta_p = \frac{0,4 \text{ кПа} \cdot (\pm 0,1\%)}{100\%} = \pm 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ кПа} = \pm 0,4 \text{ Па}.$$

Для оценки погрешности измерения плотности в данной схеме полагаем, что значения g и h известны с высокой точностью. Тогда можно определить погрешность измерения плотности, если известна погрешность измерения разности давлений $\Delta_p = \pm 0,4 \text{ Па}$:

$$\Delta_\rho = \frac{\Delta_p}{g \cdot h} = \frac{\pm 0,4 \text{ Па}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м}} = \pm 0,0004 \text{ г/см}^3.$$

Для сравнения, определим погрешность измерения плотности в классической схеме гидростатического плотномера при тех же условиях:

$$P_{\max} = \rho_{\max} \cdot g \cdot h = 1,5 \text{ г/см}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м} = 15000 \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{с}^2} = 1500 \text{ Па} = 1,5 \text{ кПа}.$$

Для измерения разности давлений (перепада давлений) P_{\max} придется использовать стандартный измеритель разности давлений (Метран 150СД) с верхним пределом измерения 1,6 кПа, который так же имеет предел допускаемой приведенной погрешности $\gamma_p = \pm 0,1\%$, т.е. предельное значение абсолютной погрешности измерения разности давлений классической схемой равно:

$$\Delta_p = \frac{\Delta_p}{g \cdot h} = \frac{\pm 1,6 \text{ Па}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м}} = \pm 0,0016 \text{ г/см}^3,$$

что в четыре раза превосходит значение абсолютной погрешности при использовании гидростатического плотномера с компенсацией постоянного уровня.

Перечень ссылок

1. Лурье И.С. Руководство по технологическому контролю в кондитерском производстве. — М.: Пищевая промышленность. — 1978. — 278 с.
2. Антопольская М.Я., Бронштейн И.Н. Справочник по сырью, полуфабрикатам и готовым изделиям кондитерского производства. — М.: Пищевая промышленность, 1964
3. А.А. Зори, В.Д. Корнев, О.Н. Кузнецова. Контрольно-измерительная система параметров кондитерского производства // Труды 1-ой научно-практической конференции «Современная контрольно-испытательная техника промышленных изделий и их сертификация». СКИТ-97. — Мукачево, 1997. — С.82–85.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ В ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Ткачев М.Ю., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Использование термографии при эксплуатации, обслуживания практически всех разновидностей оборудования, зданий и сооружений в настоящее время считается достаточно дорогостоящим методом проведения исследований, потому что предполагает задействование сложной с технической точки зрения аппаратуры и предварительно обученных сертифицированных специалистов высокой квалификации, имеющих достаточно большой объем знаний в части основ и принципов данного метода, а также механизмов передачи тепла и радиометрии. Однако, несмотря на это, с точки зрения окупаемости инвестиций применение тепловизоров является достаточно привлекательным, поскольку позволяет снизить или полностью исключить расходы, обусловленные незапланированными простоями технологических линий производств [1].

Неоспоримым преимуществом инфракрасной термографии является возможность проведения обследования и наблюдения дистанционно, не подвергая остановке оборудования и не контактируя с ним. Круг задач, которые решаются в рамках этого направления, обширен и охватывает профилактическое, диагностическое обслуживание технических систем, поиск их неисправностей. Наряду с прочими при помощи данного метода могут быть решены такие специфические задачи, как определение зон износившейся огнеупорной футеровки печей различного назначения, оценка уровня заполнения бункеров и сосудов насыпными материалами и жидкостями, установление границ зон узлов и деталей машин, имеющих наиболее сложное напряженно-деформированное состояние [2].

Здесь необходимо отметить, что с точки зрения количественной оценки напряженно-деформированного состояния деталей и узлов машин наиболее информативным в сравнении с остальными (метод сеток, метод муаровых полос, метод хрупких покрытий, поляризационно-оптический метод [3]), безусловно, является и остается электротензометрический метод.

Металлургическое оборудование обладает рядом специфических особенностей в части действующих на него эксплуатационных факторов. Эта разновидность оборудования, как правило, является нестандартной. Многие элементы металлоконструкций и узлов машин и механизмов подвержены действию высоких температур, источником которых являются расплавы, нагретые газы и насыпные материалы. Ввиду этого использование инфракрасной термографии на этапе эксплуатации достаточно распространено. Однако и на таких этапах жизненного цикла изделия, как научно-исследовательские (НИР) и опытно-конструкторские работы (ОКР) значение применения данного метода сложно недооценить. Ярким тому примером могут стать многолетние исследования различных образцов промышленного оборудования, которые ведутся в лаборатории физического моделирования кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я. ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Следует отметить, что сотрудниками лаборатории кафедры ведутся работы по исследованию параметров и конструкций не только металлургического оборудования, но и в области смежных и родственных отраслей.

Одним из направлений изысканий, в котором применялись современные методы научных исследований, стала работа по уравниванию механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [4].

Механизмы качания кристаллизаторов являются одной из наиболее ответственных составляющих МНЛЗ. Стабильность их работы непосредственным образом влияет на

количество прорывов металла из формирующегося слитка, а также на качество его поверхности. Поэтому работы, связанные с обоснованием параметров и совершенствованием конструкций механизмов качания кристаллизаторов МНЛЗ, остаются актуальными до настоящего времени [5]. Этому направлению исследований и была посвящена вышеупомянутая работа.

На радиальных МНЛЗ с кривизной технологической оси радиусом r в последнее время используют механизм качания кристаллизатора, позволяющий приблизительно воспроизвести круговую траекторию движения. Кинематическая схема такого механизма изображена на рис. 1, а. Он включает опорную раму, шарнирно закрепленную в точках A и B четырехзвенника, приводимого в движение эксцентриком O_1C . Незначительное отклонение траекторий движения точек кристаллизатора от заданной кривой обеспечивается путем подбора геометрических параметров звеньев шарнирного механизма O_2ABO_3 . График скорости качания кристаллизатора, снабженного указанным механизмом качания, приведен на рис. 1, б. В соответствии с этим графиком в точках m и n скорость кристаллизатора v_k равна скорости слитка v_c . Поэтому залечивание поверхности слитка происходит за время поворота эксцентрика на угол ψ_3 . Следует отметить, что частота качания кристаллизаторов, снабженных механизмами с электромеханическим приводом, составляет $50-250 \text{ мин}^{-1}$ при амплитуде 6-12 мм.

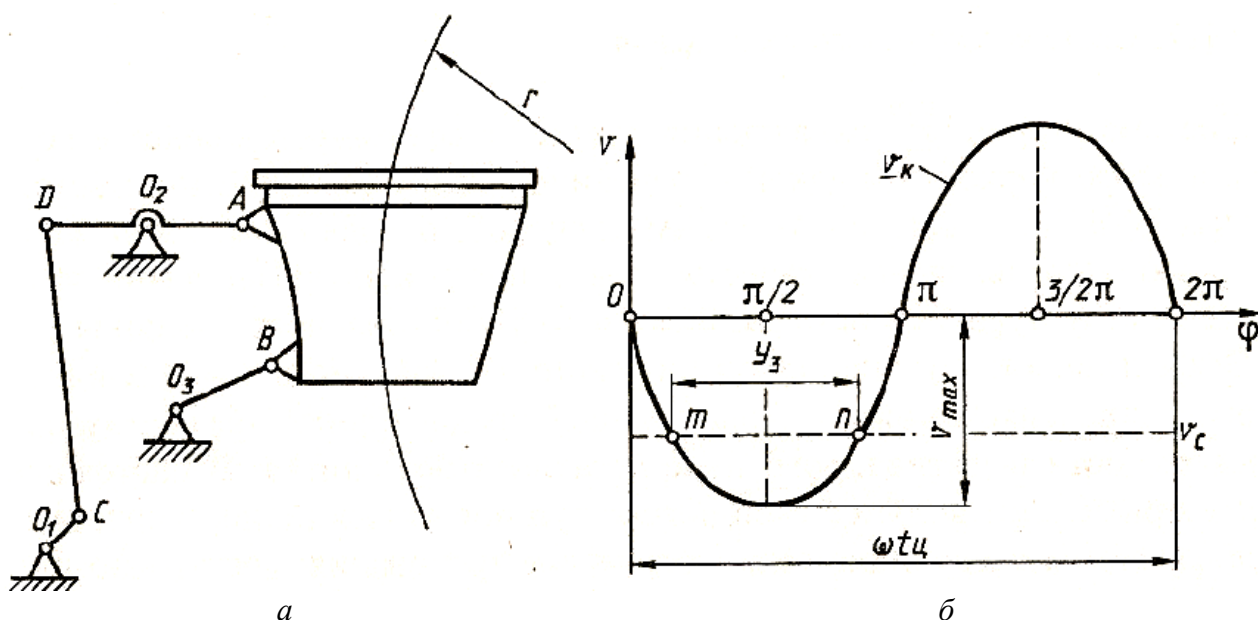


Рисунок 1 – Схема механизма качания кристаллизатора радиальной МНЛЗ (а) и график изменения скорости его качания (б)

В рамках работы с соблюдением правил и положений теории моделирования была создана физическая модель механизма качания кристаллизатора радиальной МНЛЗ (рис. 2). На этой модели наряду с прочим посредством инфракрасной термографии устанавливалась в ходе стендовых испытаний температура ее основных узлов трения.

Так на рис. 3 представлены тепловые сигнатуры (термограммы) первых звеньев узла привода модели механизма качания кристаллизатора. Светлые области на тепловом изображении ремня и шкивов указывают на возможные проблемы соосности.

На рис. 4 и 5 приведены тепловые сигнатуры (термограммы) горизонтально и наклонно установленных подшипников качения физической модели механизма качания кристаллизатора радиальной МНЛЗ соответственной.

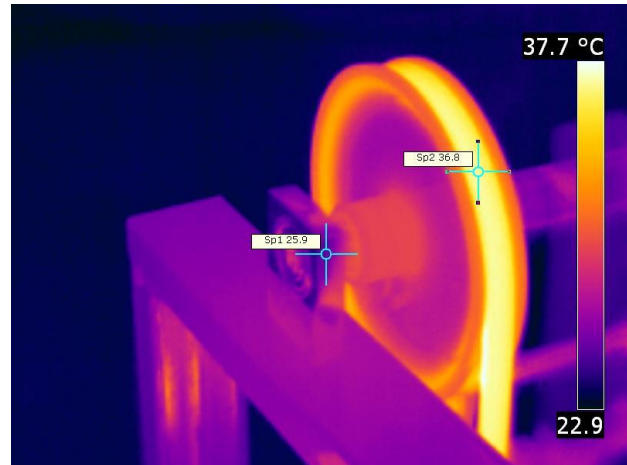
Из теории диагностирования промышленного оборудования достоверно известно, что температура нагрева корпуса узла подшипника качения, равная 60°C , является значением, характеризующим предельное техническое состояние подшипника, соответствующее этапу его ускоренного износа.



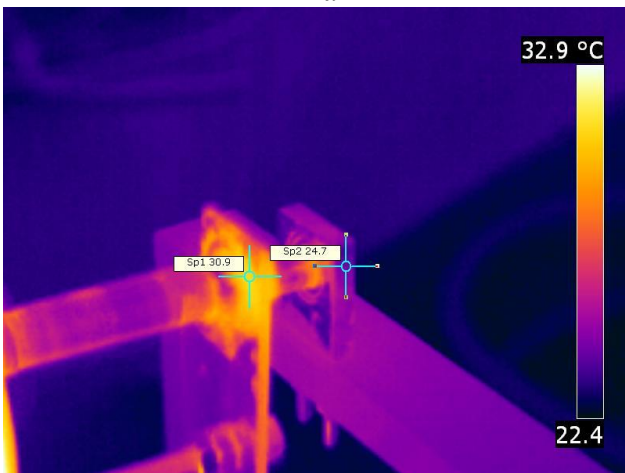
Рисунок 2 – Физическая модель механизма качания кристаллизатора радиальной МНЛЗ (вид с боку)



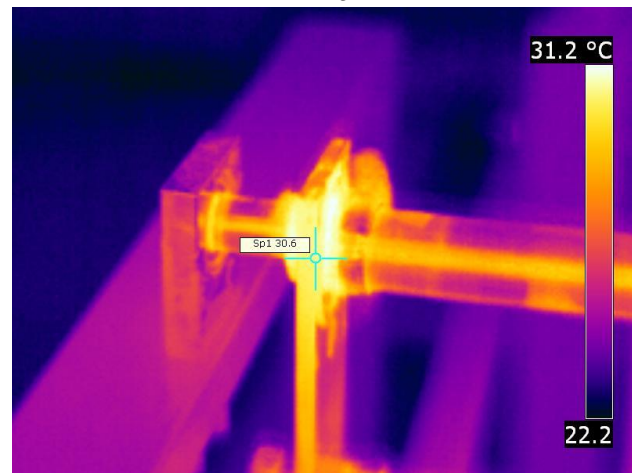
а



б



в



г

Рисунок 3 – Внешний вид (а) привода модели и термограммы (тепловые сигнатуры) клиноременной передачи (б), эксцентриков и шатунов (в, г)

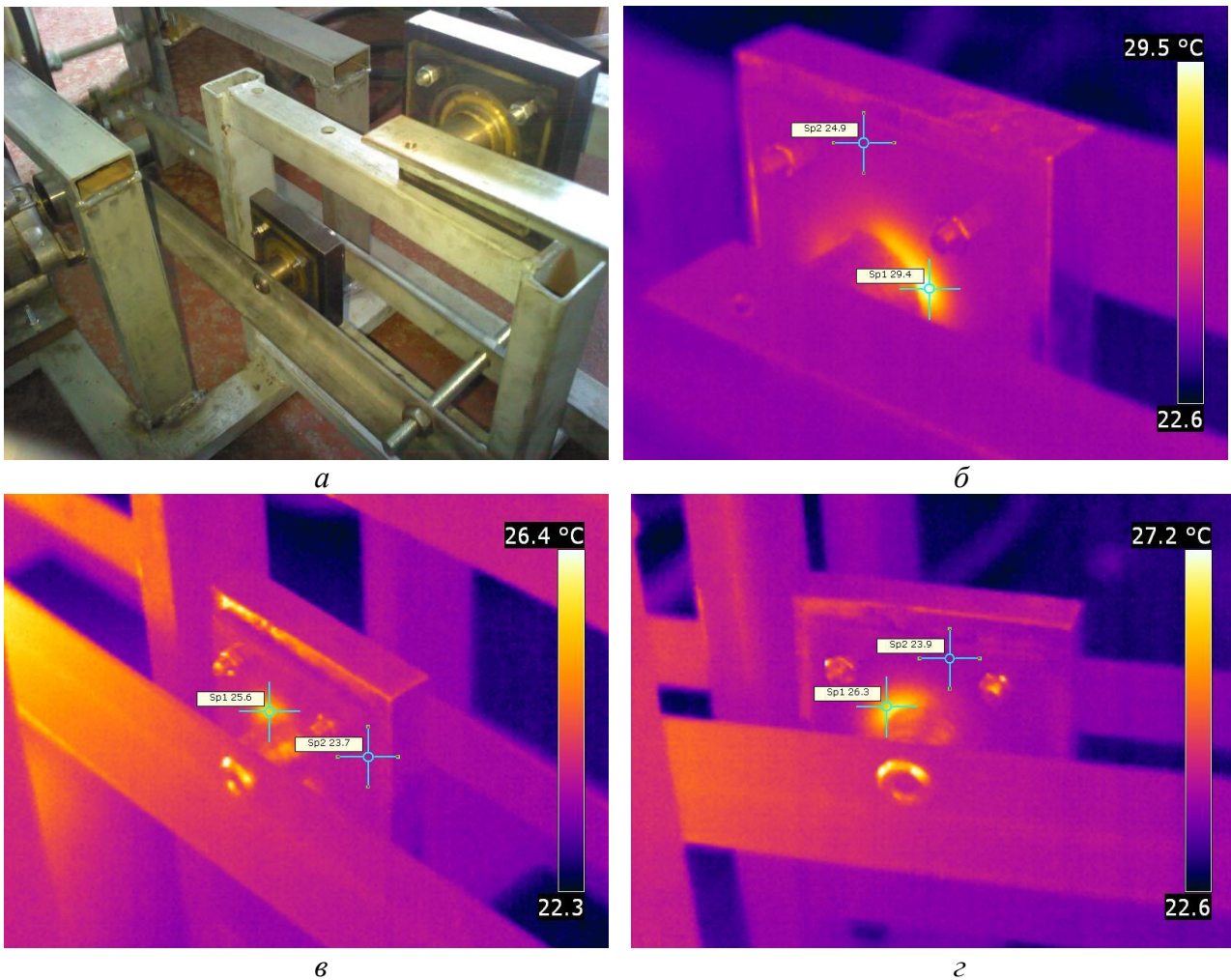


Рисунок 4 – Внешний вид (а) горизонтально установленных подшипников качения модели и термограммы (тепловые сигнатуры) верхнего (б) и нижнего (в, з) подшипников

Следует также отметить, что зачастую более полное представление о техническом состоянии электромеханической системы или ее элемента дает комплексное применение методов неразрушающего контроля и диагностирования. Например, зачастую инфракрасная термография применяется в комплексе с вибрационным анализом, анализом двигательной цепи, анализом шумов механизма и т.д. Анализ результатов инфракрасной термографии в данный момент времени дает наилучший эффект при сравнении их с результатами предыдущих замеров (сравнительная термография), проведенных на этом объекте. При данном подходе как нельзя лучше прослеживаются тенденции изменения технического состояния объекта, в том числе после проведения мероприятий технического обслуживания и ремонта, на всех этапах эксплуатации – приработки, нормальной работы, ускоренного износа. Необходимо подчеркнуть, что общие рекомендации, касающиеся границ диагностических параметров, соответствующих тому или иному техническому состоянию объекта, характерны для стандартного оборудования. Для нестандартного оборудования достоверное заключение о его техническом состоянии возможно лишь при сравнении результатов инфракрасной термографии в настоящее время с результатами, зафиксированными в период нормальной работы (выявление температуры трендов).

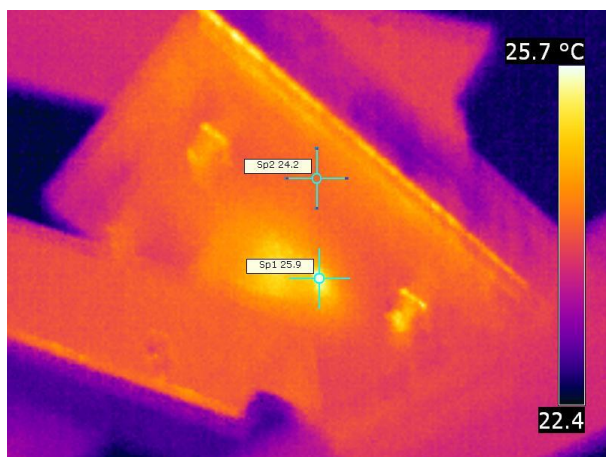
Наряду с двумя вышеупомянутыми существует также и третий вид обследования, проводимый с целью получения опорных изображений, т.е. такой, при котором устанавливаются и обосновываются характерные узлы данного агрегата, на которых необходимо проводить регулярное обследование.

Общеизвестно, что техническому состоянию практически всех систем и агрегатов присуща стохастическая природа, т.е. подверженность влиянию большого числа факторов.

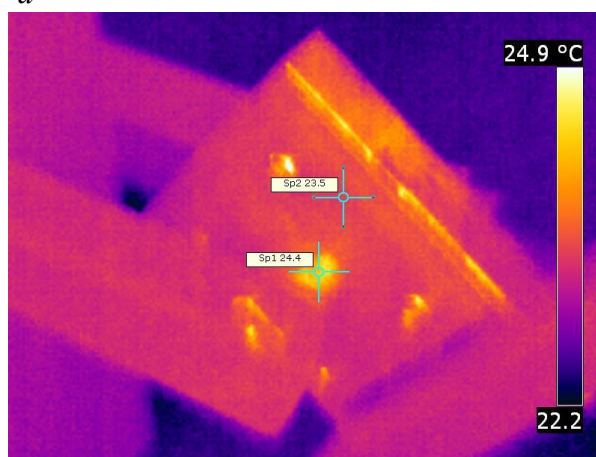
Ввиду этого для достижения эффективного результата исследования основной задачей специалиста-термографиста является исключение (учет) влияния из сравнения всех второстепенных факторов, кроме одного главного – высвобождающейся в процессе работы обследуемого узла энергии (тепла).



a



б



в

Рисунок 5 – Внешний вид (а) наклонно установленных подшипников качения модели и термограммы (тепловые сигнатуры) верхнего (б) и нижнего (в) подшипников

Таким образом, применение инфракрасной термографии в физическом моделировании металлургических процессов и оборудования позволяет получить достоверные сведения об изменяющемся техническом состоянии объекта и наиболее нагруженных его элементах.

Перечень ссылок

1. Захаренко В.А. Методы и средства бесконтактной термометрии для задач теплового контроля в промышленности: монография / В.А. Захаренко. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 148 с.
2. Смирнов А.С. Методика измерения тепловизором температуры поверхности цилиндрических образцов в процессе сжатия / А.С. Смирнов // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: тезисы докладов 7-й Межд. конф., 11-13 марта 2008 г., Москва. – Москва: Машиностроение, 2008. – С. 133-134.
3. Еронько С.П. Комплексный метод модельных исследований условий функционирования стопорной системы промежуточного ковша МНЛЗ / С.П. Еронько, М.Ю. Ткачев, В.М. Пильгаев // Инновационные перспективы Донбасса: материалы докладов 4-й Межд. науч.-практ. конф., 22-25 мая 2018 г., Донецк. В 6 т. Т.3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – С. 27-31.
4. Родионов Н.А. Уравновешивание механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.08 / Родионов Николай Александрович. – Красноармейск, 2016. – 20 с.
5. Еронько С.П. Разливка стали: Технология. Оборудование: монография / С.П. Еронько, С.В. Быковских. – Киев: Техника, 2003. – 216 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАЛЬНОМЕРА HC-SR04 В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Франчук Д.С., магистрант

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В настоящее время в мире интенсивно расширяются области исследований и использования мобильных роботов – мехатронных систем, базирующихся на последних достижениях механики, микропроцессорной техники, контрольно- измерительных систем, информатики и теории управления. Для успешного выполнения обширного круга задач роботы должны обладать как мобильностью, так и способностью планировать и автоматически выполнять полученное задание. Их особенность - возможность достижения заданной цели в неопределенной внешней среде, избегая столкновений со стационарными препятствиями и подвижными объектами. Мобильные роботы снабжены различными локационными датчиками, определяющие скорость движения и наличие препятствий на его пути, а также позволяющими роботам реагировать на посторонние предметы, случайно оказавшиеся в зоне действия.

Для обеспечения ориентации робота в среде в основном используют разнообразные дальномеры: ультразвуковые, оптические и лазерные. С помощью лазерных дальномеров возможно получить образ среды только в зоне прямой видимости. Кроме того, на пути луча часто возникают мелкие помехи, вносящие погрешность в такой образ. Создание трехмерных карт с помощью лазеров в масштабе реального времени еще более затруднительно и, как минимум, требует существенных вычислительных мощностей.

Ультразвуковые дальномеры характеризуются большим временем отклика – порядка десятых долей секунды, однако для большинства задач ориентирования и обнаружения препятствий этого вполне достаточно.

На данный момент на отечественном рынке специального оборудования можно приобрести различные виды датчиков измерения расстояния.

Ультразвуковой дальномер HC SR04 самый известный датчик для применения в Arduino, Raspberry Pi, ESP8266 и ESP32 модулях. Позволяет измерять расстояние до объекта в диапазоне от 2 до 400 (180) см. Например, если вы хотите собрать робота, который объезжает преграды, то данный дальномер прекрасно подойдет для ваших задач. Датчик имеет небольшие габариты и простой интерфейс.

Название выводов ультразвуковых излучателей модуля

Vcc – положительный контакт питания.

Trig – цифровой вход. Для запуска измерения необходимо подать на этот вход импульс (логическую единицу) длительностью 10 мкс.

Следующий импульс рекомендуется подавать не ранее чем через 50 мс. что связано со временем обработки первого импульса.

Echo – цифровой выход. После обработки отраженного сигнала, на этот выход будет подан импульс (логическая единица), длительностью пропорциональной расстоянию до объекта.

GND – отрицательный контакт питания (земля).

Левый ультразвуковой излучатель (маркирован буквой T - transmitter) это передатчик ультразвукового сигнала, правый ультразвуковой излучатель (маркирован буквой R - resiver) это приемник отраженного от объекта ультразвукового сигнала (эха).

Напряжение питания: 5 В. Модель HC-SR04 + работает в диапазоне от 3,3В-5В (помечено как HC-SR04 + на задней стороне платы модуля) Потребление в режиме тишины: 2 мА

Потребление при работе: 15 мА

Максимальная частота опроса датчика: 20 Гц (Период опроса 50 мс)

Частота ультразвука: 40 кГц Дальность обзора: 2 см - 4 м (1,8 м)
 Разрешение (градация выходного сигнала): 0,3 см Эффективный угол наблюдения: 15°
 Рабочий угол наблюдения: 30° вес — 8,28 грамм
 Размеры: 45*20*15 мм. ДхШхГ (Рисунок 1 – без учета контактов подключения)

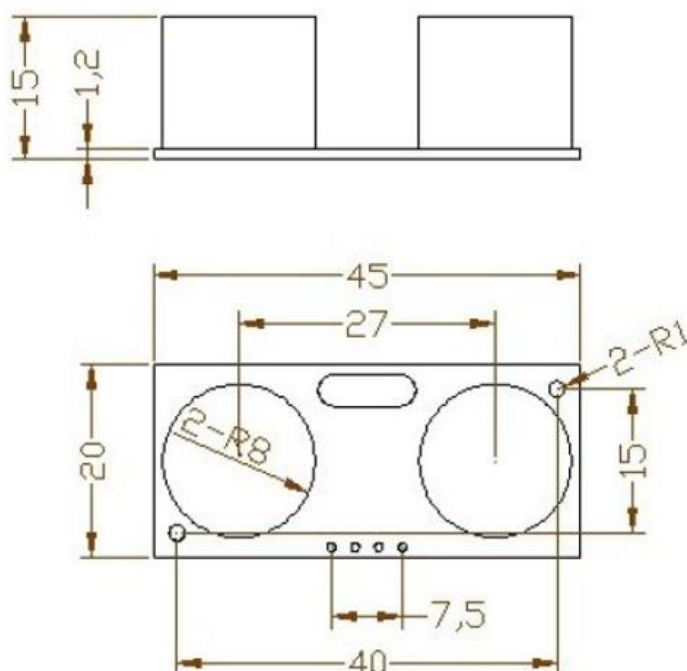


Рисунок 1 – Размеры Ультразвукового датчика HC-SR04

Заявленные характеристики ультразвукового дальномера:

- 1) Напряжение питания: 5 В
- 2) Потребление в режиме тишины: 2 мА
- 3) Потребление при работе: 15 мА
- 4) Диапазон расстояний: 2–400 см
- 5) Погрешность измерения ~ 2 см
- 6) Эффективный угол наблюдения: 15°
- 7) Рабочий угол наблюдения: 30°.

Расчет расстояния (S) до препятствия в ультразвуковом датчике HC-SR04 производится по формуле[1]:

$$S = \frac{F}{k} [см], \quad [1]$$

где F – изменяющаяся продолжительность импульса;

k – заведомо запрограммированная константа, которая вычислена исходя из номинальной скорости звука ($v_{\text{ном}} = 331,6$ м/с) при температуре $T \approx 0$ °C: $k = 58$.

Исходя из заявленных характеристик, датчик можно использовать на расстоянии до 4 метров с погрешностью измерения не более 2 см, однако данные заявленные характеристики будут справедливы только в идеальных условиях отражения поверхности, а так же при температуре 0 °C.

С целью выявления погрешности датчика в реальных условиях эксплуатации были проведены исследования с использованием датчика HC-SR04 при следующих параметрах:

Температура проведения исследования: ~25-28 °C.

Напряжение питания установки: 4,9-5,1В.

Препятствие: Деревянный МДФ щит.

Устройство измерения расстояния было размещено строго перпендикулярно отражаемой поверхности что соблюдалось в ходе всего исследования. Датчик тестировался в

10 различных дистанциях от поверхности, при каждой дистанции было проведено 100 измерений расстояния, для качественного определения погрешности измерения расстояния. Все данные были занесены в таблицу, для ограничения объема таблицы в данной статье отображены только первые и последние 10 значений интервалов измерений (см. табл. 1).

Таблица 1 – измерения расстояний в 10 интервалах

4см	30см	60см	100см	150см	200см	250см	300см	350см	400см
4	30	60	99	135	185	234	279	326	371
4	30	60	99	135	182	235	278	327	371
4	30	60	99	135	182	235	279	326	370
4	30	60	100	135	182	234	279	326	371
4	30	60	100	137	182	235	278	328	371
4	30	60	100	135	182	234	278	327	370
4	30	60	99	135	182	235	279	328	371
4	30	60	100	135	182	234	278	326	371
4	30	60	100	134	182	234	278	327	371
4	30	60	99	135	182	235	278	326	371
...
4	30	60	100	136	191	235	279	326	371
4	30	60	100	135	188	234	281	327	370
4	30	60	99	134	188	234	279	326	370
4	30	60	99	135	188	234	276	326	370
4	30	60	100	135	188	235	281	326	370
4	30	60	99	135	190	235	274	328	372
4	30	60	100	136	188	235	279	326	371
4	30	60	99	135	188	234	275	326	371
4	30	60	99	135	188	234	278	327	371
4	30	60	99	135	188	234	276	327	371

Исходя из данной таблицы можно увидеть что стабильные и точные показания датчик осуществляет только в диапазоне от 4см до 60см, после чего у измеренного и реального расстояния появляются расхождения. Для определения погрешности и отклонения измерений был проведен расчет среднеквадратического отклонения разброса самого измерения, а так же среднеквадратическое отклонение измеренного значения от реального. Расчет среднеквадратического отклонения в каждом диапазоне измерений приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Среднеквадратическое отклонение в диапазонах измерения

4см	30см	60см	100см	150см	200см	250см	300см	350см	400см
0	0	0	0,51247	0,54716	2,5	0,64157	1,0326	0,62563	0,67112

Для определения среднеквадратического отклонения от реальных дистанций выполним расчет среднего значения для каждого интервала (см. табл. 3).

Таблица 3 – Среднее значение измеряемых интервалов

4см	30см	60см	100см	150см	200см	250см	300см	350см	400см
4см	30см	60см	99,6см	135,06см	184,15см	234,55см	278,62см	326,65см	370,79см

Найдем среднеквадратическое отклонение измерения расстояния от реального значения(см. табл. 4).

Таблица 4 – Среднеквадратическое отклонение в диапазонах измерения от реального значения

4см	30см	60см	100см	150см	200см	250см	300см	350см	400см
0	0	0	0,28284	10,5641	11,2076	10,924	15,1179	16,5109	20,6545

Для наглядности построим график среднеквадратического отклонения измерений расстояния от реальных значений (рис. 2).

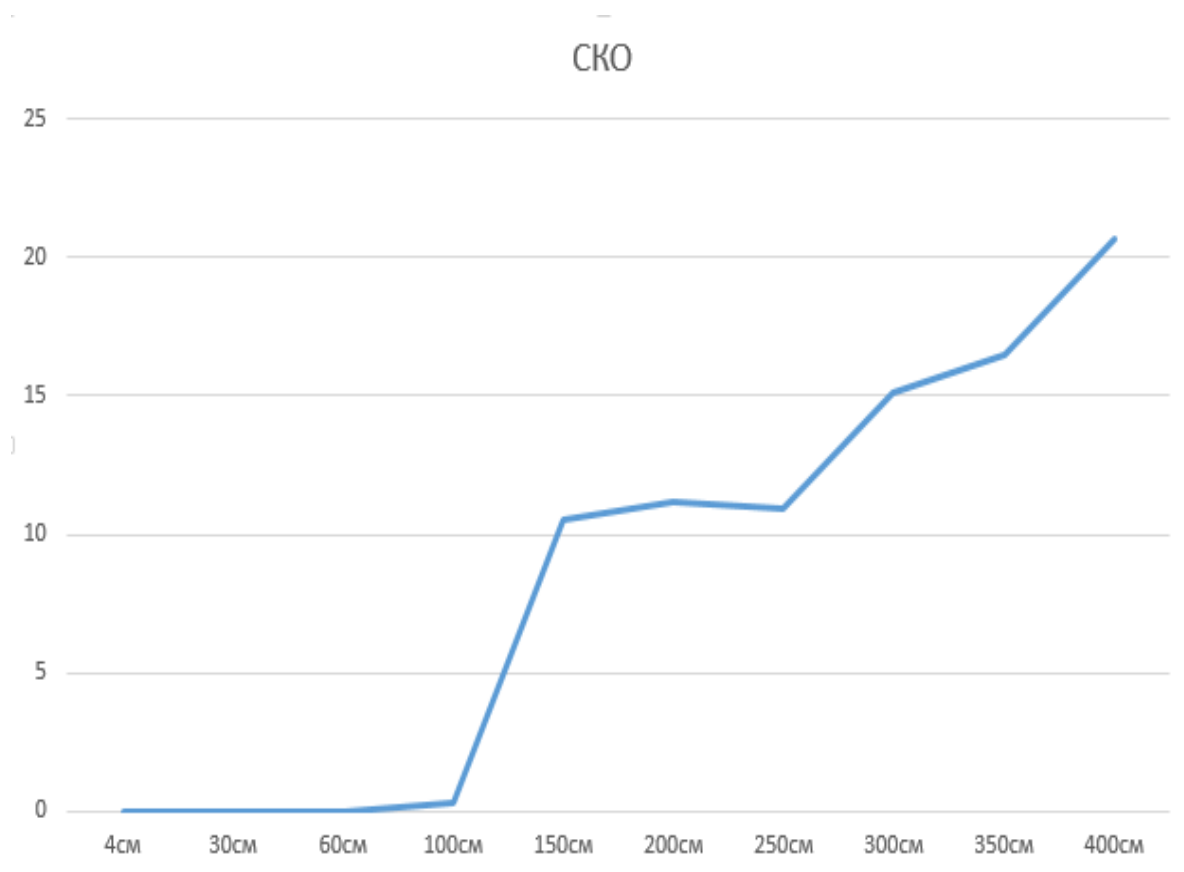


Рисунок 2 – Среднеквадратическое отклонение в диапазонах измерения от реального значения

Для определения относительной погрешности воспользуемся средним значением измеренного диапазона и реальным расстоянием (см. табл. 5).

Таблица 5 – Относительная погрешность измерения расстояния

4см	30см	60см	100см	150см	200см	250см	300см	350см	400см
0%	0%	0%	0,4%	10%	8%	6,1%	7,1%	6,6%	5%

Исходя из результатов исследования видно, что хорошие показания измерения в реальных условиях, датчик показал в диапазоне от 4см до 100см. Измерение расстояния свыше 100см будут вносить определенную погрешность в результат измерения что нужно учитывать при создании электронного устройства.

Можно сделать вывод, что для задачи вспомогательного ориентирования и обнаружения препятствий автономной роботизированной платформы, данный датчик можно использовать, так как стабильно обнаруживая препятствия в метре от платформы, позволит делать ряд замеров для отклонения случайных реагирований, а так же успевать реагировать на внешние факторы.

Перечень ссылок

1. Академия роботехники [Электронный ресурс]: Ультразвуковые датчики. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://mirrobo.ru/micro/ultrazvukovye-datchiki> – Дата доступа: март 2017. – Загл. с экрана.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ КИСЛОТНОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Шульга М.В., магистрант

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, ДНР»)

Показатель pH – один из основных качественных характеристик воды. Он отражает кислотно-щелочной баланс и определяет, каким образом будут происходить те или иные биологические и химические процессы. Величиной pH воды определяется скорость протекания той или иной химической реакции, уровень коррозионной агрессивности жидкости, степень токсичности загрязняющего вещества и многие другие факторы. Более того, кислотно-щелочной баланс среды организма определяет наше состояние здоровья, настроение и самочувствие.

Потенциометрическое определение pH проводят путем измерения разности потенциалов между измерительным электродом и электродом сравнения, погруженными в испытуемый раствор. Однако на результат измерений существенное влияние оказывает температура раствора, поэтому для обеспечения высокой точности измерений необходимо обеспечить температурную компенсацию результатов измерений pH .

Целью работы является разработка и исследование математической модели потенциометрического датчика pH водных растворов, обеспечивающую температурную компенсацию результатов для обеспечения высокой точности измерений.

Показатель pH является единицей активности иона водорода, которая равна обратному логарифму активности водородных ионов. Так, например, вода, pH которой составляет 7, обладает 10^{-7} моль на один литр ионов водорода. Следовательно, жидкость с pH равном $6 - 10^{-6}$ моль на один литр. Шкала показателей pH при этом варьирует в диапазоне от 0 до 14. Если pH воды менее 7, то она является кислотой, а если более 7 – тогда щелочной. Норма pH для поверхностных водных систем составляет 6,5–8,5, для подземных – 6–8,5 [1].

Потенциометрический датчик pH вырабатывает напряжение, которое строго линейно кислотности измеряемой жидкости. При этом напряжение, вырабатываемое датчиком, может быть любой полярности. При $pH=0$ напряжение равно 413 мВ, при $pH=1$ – 354 мВ. Так при изменении pH на одну единицу напряжение изменяется на 59,16 мВ (это число называют мВ/ pH фактор). Это значение характеризует наклон прямой графика. Стоит заметить, что значение 59,16 это теоретическое расчетное значение. На деле же это число может отклоняться как в меньшую, так и в большую сторону из-за изменения температуры и особенностей конкретного сенсора (например, может меняться из-за износа стеклянной мембраны или из-за особенностей изготовления данной партии сенсоров).

На рисунке 1 приведены зависимости выходного напряжения потенциометрического датчика от значения pH при различных температурах измерительного раствора. Как видно из рисунка, температура существенно влияет на результат измерений и его погрешность. По данным источника [2] мВ/ pH фактор изменяется примерно на 0,2 мВ на один градус. Поэтому значение мВ/ pH фактора можно записать как

$$S(T) = S_0 + \alpha \cdot (T - T_0), \quad (1)$$

где T – температура по шкале Цельсия; $T_0 = 25$ °С; $S_0 = 59,16$ мВ/ pH ; $\alpha = 0,2$ мВ/($pH \cdot$ град)

С учетом температурной зависимости мВ/ pH фактора функция преобразования потенциометрического датчика pH примет вид

$$U_{\text{вых}}(pH, T) = -S(T) \cdot (pH - pH_0), \quad (2)$$

где $pH_0 = 7$ – водородный показатель в изотермической точке.

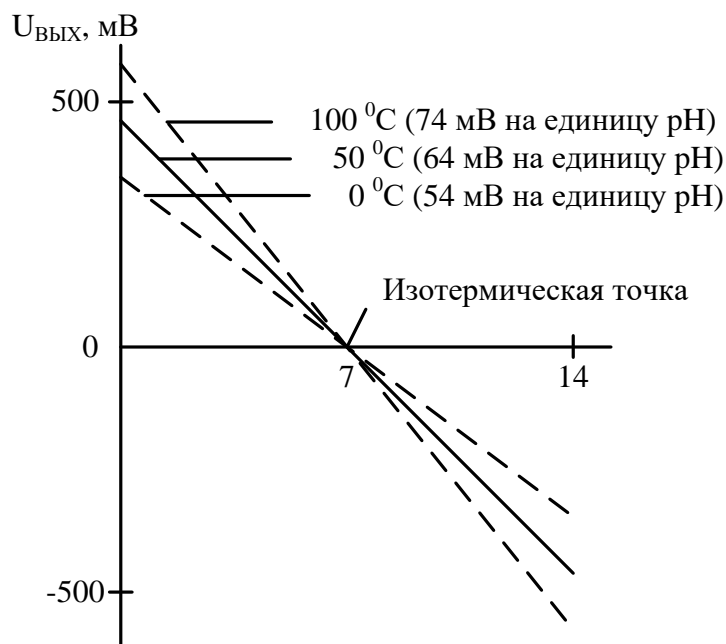


Рисунок 1 – Зависимости выходного напряжения потенциометрического датчика от значения pH при температурах раствора $0^{\circ}C$, $50^{\circ}C$ и $100^{\circ}C$

Теперь преобразуем формулу (2) так, чтобы вычислять значение pH по полученному напряжению:

$$pH(U_{\text{ВЫХ}}, T) = pH_0 - \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{S(T)}. \quad (3)$$

Используя полученную математическую модель потенциометрического датчика pH , выполним оценку погрешности измерений pH , обусловленную влиянием температуры на выходной сигнал исследуемого датчика.

На рисунке 2 приведены результаты математического моделирования с полученными зависимостями абсолютной погрешности измерений pH от температуры при $pH=4$, $pH=6$ и $pH=10$. Из результатов следует:

- 1) При $pH = pH_0 = 7$ температурная погрешность показаний потенциометрического датчика равна нулю, т.е. выходной сигнал датчика не зависит от температуры измерительного раствора, а зависит только лишь от показателя pH .
- 2) При температуре раствора $T_0 = 25^{\circ}C$ вне зависимости от уровня pH температурная погрешность равна нулю (изотермическая точка).
- 3) При $pH > pH_0$ имеем отрицательный коэффициент температурной погрешности, а при $pH < pH_0$ – положительный.
- 4) Температурная погрешность измерений тем больше, чем больше уровень pH отличается от $pH_0=7$, а температура раствора от $T_0 = 25^{\circ}C$.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для обеспечения высокой точности измерений показателя pH водных растворов потенциометрическим датчиком необходимо осуществлять компенсацию температурной погрешности результатов измерений.

Предложенная структура измерительного канала показателя pH с компенсацией температурной погрешности представлена на рисунке 3. Данная структура обеспечивает компенсацию температурной погрешности результатов измерений показателя pH на уровне математической модели.

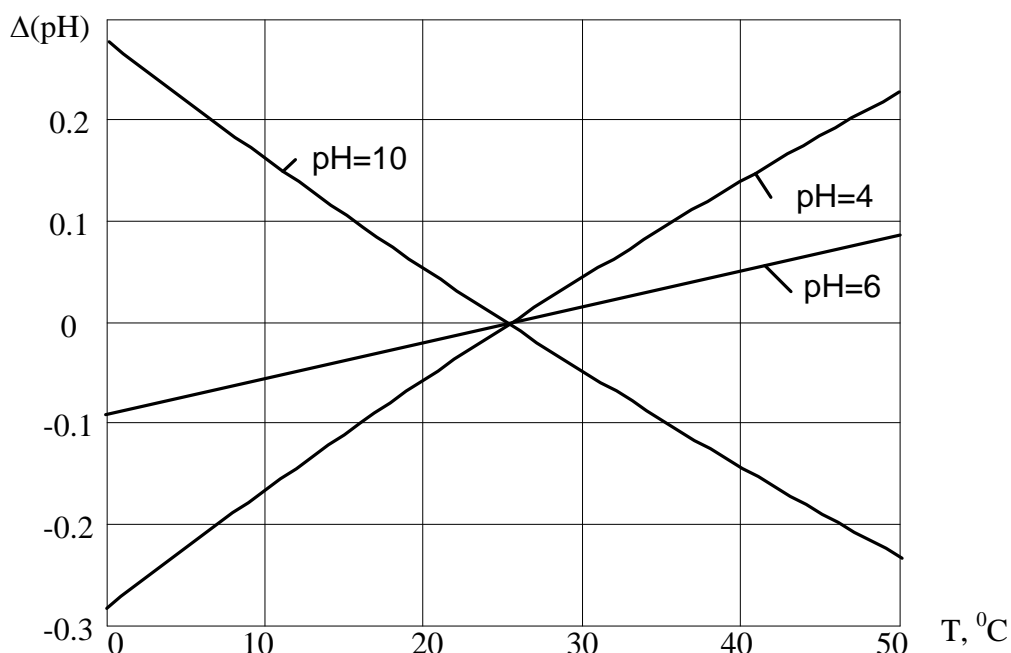


Рисунок 2 – Зависимости абсолютной погрешности измерений pH от температуры при $pH=4$, $pH=6$ и $pH=10$

Микроконтроллер МК вычисляет скорректированное по температуре значение pH по выражению (3) используя результаты прямых измерений выходного напряжения потенциометрического датчика $U_{\text{ВЫХ}}$ и температуры измерительного раствора T .

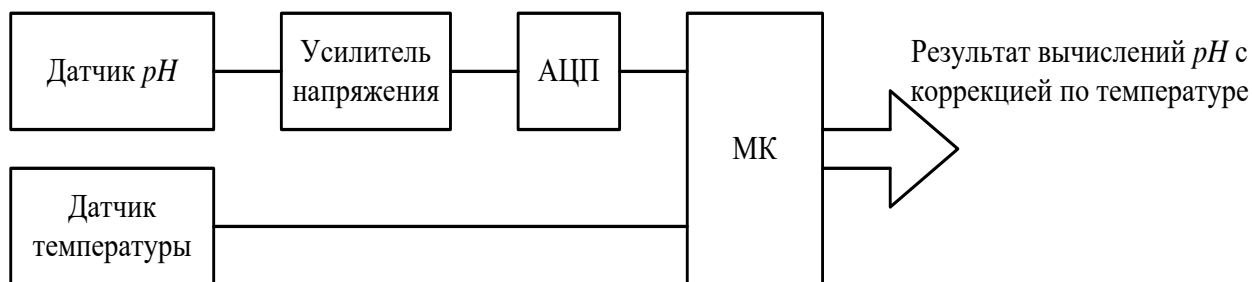


Рисунок 3 – Структура измерительного канала показателя pH с компенсацией температурной погрешности

Выводы

1. Разработанная математическая модель потенциометрического датчика pH водных растворов обеспечивает высокую точность измерений pH за счет компенсации температурной погрешности результатов измерений.
2. Предложенная структура измерительного канала показателя pH позволяет выполнить компенсацию температурной погрешности результатов измерений pH на уровне математической модели и этим обеспечивает высокую точность измерений.

Перечень ссылок

1. Что такое pH воды и почему важно его знать. <https://biokit.ru/video-instructions/chto-takoe-ph-vody/> (Дата доступа: 23.04.2019).
2. Как правильно откалибровать pH -метр. <http://www.ecoinstrument.com.ua/kak-pravilno-otkalibrovat-ph-metr/> (Дата доступа: 23.04.2019).

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Чёрный В.В., магистрант, Косарев Н.П., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В статье приведен расчет погрешностей, вносимых давлением и температурой, а также непосредственно самим измерительным каналом.

1. Учет влияния давления и температуры на коэффициент поглощения инфракрасного излучения метана

Оптическая плотность вещества зависит от внешних условий: температуры и давления. В ИК-спектрометрии влияние давления и температуры учитывается следующим образом: от давления сильно зависит полуширина спектральной линии поглощения и в меньшей от изменения температуры, огибающая спектра полосы тоже прямо пропорциональна изменению давления и обратно пропорциональна квадратному корню изменения температуры.

Аппроксимирующий полином получен на основании статистических данных - зависимости коэффициента поглощения метана от давления и температуры (1.1):

$$\begin{aligned} aptCH_4_0 &= 5,538 \cdot 10^{-5}; \\ apCH_4_1 &= -7,2 \cdot 10^{-12}; \\ atCH_4_1 &= -4,38 \cdot 10^{-9}; \\ atCH_4_2 &= -3,869 \cdot 10^{-12}; \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$ACH_4PT(p, t) = aptCH_4_0 + apCH_4_1 \cdot p + atCH_4_1 \cdot t + atCH_4_2 \cdot t^2$$

Зависимость коэффициента поглощения метана определяется с учетом возмущающих факторов по следующей зависимости (см. рис. 1):

$$aa\lambda CH_{4\text{норм}}(\delta\lambda, P, T) = aa \cdot \left(\frac{P}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{T}}\right)^3 \cdot (\delta\lambda)^2 \cdot e^{-(\delta\lambda)^2 \cdot \left(\frac{P}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{T}}\right)^2} \quad (1.2)$$

$$KCH_4(\delta\lambda, P, T) = aa\lambda CH_{4\text{норм}}(\delta\lambda, P, T) \cdot ACH_4PT(P, T) \quad (1.3)$$

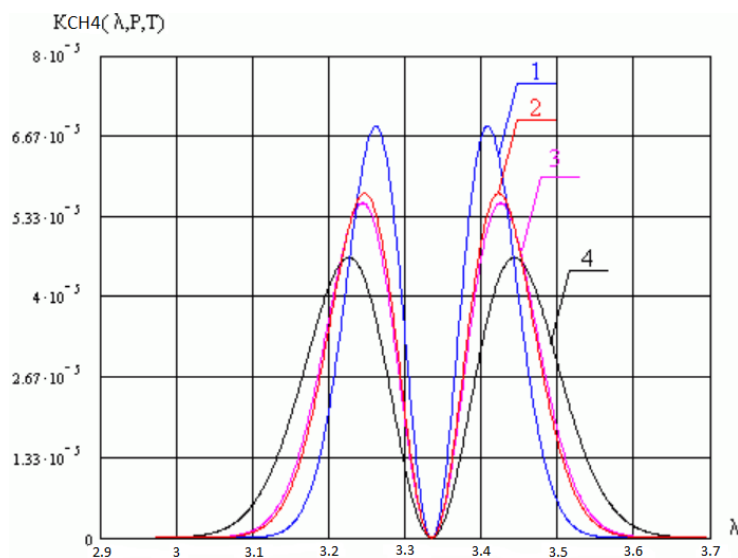


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента поглощения метана от давления и температуры

- 1 - КСН4 (1, P=101325, T=273)
- 2 - КСН4 (1, P=101325, T=393)
- 3 - КСН4 (1, P=125000, T=273)
- 4 - КСН4 (1, P=125000, T=393)

2. Учет факторов при прохождении потока инфракрасного излучения сквозь оптический канал газоанализатора

Оптический канал абсорбционного спектрометрического газоанализатора приведен на рис. 2

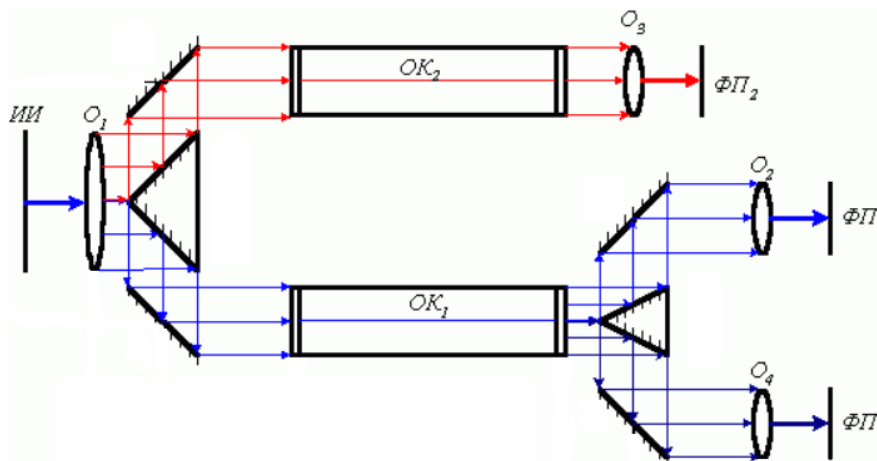


Рисунок 2 – Оптический канал абсорбционного спектрометрического газоанализатора

2.1. Определение оптической неоднородности канала

Оптическая неоднородность канала вызвана применением в канале материалов с различными оптическими свойствами. Оптическая неоднородность учитывается коэффициентами преломления.

Потери излучения на границах раздела и в средах с различными коэффициентами преломления учитываются коэффициентами отражения и пропускания границами раздела, рассеяния и поглощения излучения в этих средах. В настоящей работе в качестве таких сред выступают оптические линзы, изготавливаемые из специальных материалов: специальных сортов оптического стекла, природных и синтетических кристаллов. Рассматриваемые линзы считаются тонкими (их толщина и диаметр много меньше фокусных расстояний) в связи, с чем потерями на рассеяние и поглощение можно пренебречь. По этой же причине будем считать, что потоки излучения падают на границы раздела сред по нормали к поверхности раздела, как показано на рис. 3.

В диапазоне малых углов падения луча на границу раздела, коэффициент отражения практически остается постоянной величиной. Поэтому малое отклонение угла падения на границу раздела, обусловленное кривизной линзы практически не влияет на коэффициент отражения. Сделанное допущение следует считать справедливым.

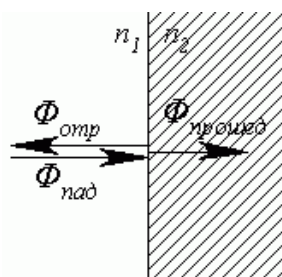


Рисунок 3 – Граница раздела сред с различной оптической плотностью

Коэффициенты отражения R и пропускания T границ раздела сред устанавливаются через коэффициенты преломления этих сред. При нормальном падении луча эти зависимости принимают вид:

$$R_{1,2} = \frac{\Phi_{\text{отр}}}{\Phi_{\text{пад}}} = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2}; \quad (2.1)$$

$$T_{1,2} = \frac{\Phi_{\text{прошед}}}{\Phi_{\text{пад}}} = 1 - R_{1,2} = \frac{(n_2 + n_1)^2 - (n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} = \frac{4 \cdot n_1 \cdot n_2}{(n_2 + n_1)^2} \quad (2.2)$$

Если границы раздела чередуются, например, при прохождении излучения через линзу таких границ окажется две, то в общем случае при прохождении N границ раздела коэффициент пропускания всей системы окажется равным:

$$T_{1,N} = \prod_{i=1}^{N-1} T_{i,i+1} \quad (2.3)$$

2.2 Определение расхождения инфракрасного излучения при его входе в объектив фотоприемника

Источник излучения имеет конечные размеры и поток, выходящий из линзы, оказывается расходящимся, поэтому при определении коэффициента ввода излучения в объектив учитывается угол расхождения луча. (см. рис. 4)

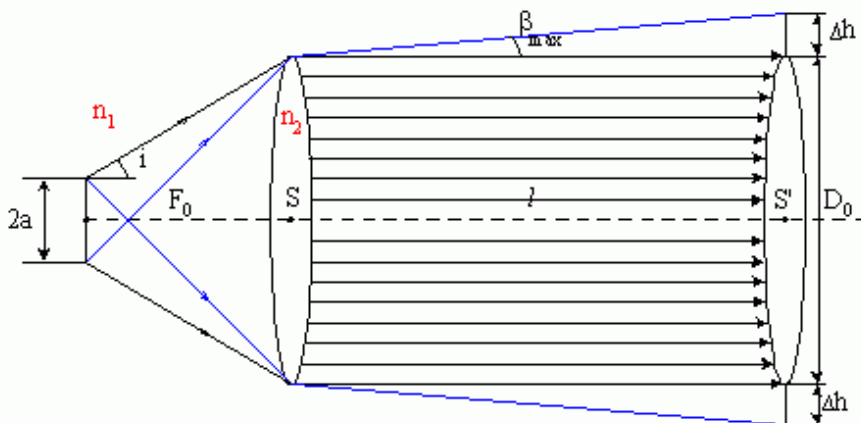


Рисунок 4 – Расходимость луча при конечных размерах источника излучения

Угол расхождения луча при вводе в объектив фотоприемника равен:

$$\beta_{\max} = \arctg\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{a}{F_0}\right) \quad (2.4)$$

Эффективность ввода излучения в объектив определяется изменением радиуса луча, и определяется по формуле:

$$\Delta h = l \cdot \text{tg}(\beta_{\max}) \quad (2.5)$$

Коэффициент ввода инфракрасного излучения в линзу с учетом изменения радиуса луча определяется выражением:

$$K_{BB} = \frac{D_0}{D_0 + 2 \cdot \Delta h} \quad (2.6)$$

2.3 Методика определения эффективности ввода инфракрасного излучения в окно фотоприемника.

Эффективность ввода излучения в окно фотоприемного устройства оценивается коэффициентом ввода:

$$K_{BB} = \frac{\Phi_{\text{окна}}}{\Phi_{\text{пад}}} = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \int_{b_1}^{b_2} Q(x,y) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} Q(x,y) dx dy} \quad (2.7)$$

где $Q(x,y)$ - пространственная плотность потока излучения, падающего нормально на плоскость фотоприемника;

a_1, a_2, b_1, b_2 – координаты окна фотоприемника в системе координат X, Y (центр системы координат совпадает с точкой пересечения оси луча с плоскостью фотоприемника);

$\Phi_{\text{пад}}$ – величина потока (мощности) излучения падающего луча на плоскость фотоприемника;

$\Phi_{\text{окна}}$ – часть потока, падающего луча попавшего в окно фотоприемника.

Для определения потока излучения, попавшего в окно фотоприемника, рекомендуется установить величину потока излучения в зоне фотоприемника, учтя потери потока при прохождении излучения через второй объектив (вторую линзу). Величина $\Phi_{\text{пад}}$ определяется при минимальном значении концентрации ингредиента т.е. когда величина потока максимальна.

Вывод: проведено исследование влияния давления и температуры, а также факторов при прохождении потока инфракрасного излучения сквозь оптический канал газоанализатора на точность измерителя метана.

Перечень ссылок

1. Брюханов А.М. Научно-технические основы расследования и предотвращения аварий на угольных шахтах. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – 347 с.
2. Карпов Е.Ф., Биренберг И.Э., Басовский Б.И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1984. – 285 с.
3. Кашуба О.И. Оценка эффективности контроля содержания метана в рудничной атмосфере при крупных авариях в угольных шахтах / О.И. Кашуба, В.Н. Медведев, О.А. Демченко // К.: УкрНДПБ, 2012. – С. 19–22.

УДК 621.396.677

УМЕНЬШЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОНАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ФРЕНЕЛЯ

Ермаков В.А, студ.; Паслен В.В., доц., к.т.н., зав. каф. РТЗИ*ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР*

На данный момент антенна это неотъемлемая часть космической техники.

Развитие космических антенн связано непосредственно с усовершенствованием ракетной и космической техники.

Складная космическая антенна – это такая антенна, которая при прохождении через атмосферу находится в сложенном состоянии и не занимает большого объема пространства, а при попадании в космос принимает нужную форму для оптимальной работы, направление и масштаб.

Актуальность уменьшения массогабаритных характеристик очень высока, это связано с тем, что расходы на транспортировку и вывод антенны на орбиту значительно уменьшаются, а их характеристики остаются прежними.

Изначально антенны изготавливались из жесткой конструкции вследствие чего, у них был маленький диаметр, который позволял расположить конструкцию под обтекателем космического аппарата. Однако требовалось увеличение рабочих диапазонов частот, что в свою очередь вызвало потребность в увеличении диаметра антенны.

Исходя из этого, антенны, изготовленные из жесткой конструкции, не могут использоваться для всего частотного диапазона.

В свою очередь трансформируемые антенны данного недостатка не имеют и в развернутом состоянии обладают большим диаметром апертуры.

До того как закрепить складную антенну на носитель, она устанавливается в сложенное состояние.

В первую очередь к складным космическим антеннам предъявляют условия на жесткость, из-за потребности ориентации антенны и предоставления точности рабочей поверхности рефлектора.

Антенны должны обладать небольшой массой и маленьким размером в сложенном виде, они должны иметь надежную систему развертывания и обязаны сохранять свои характеристики при работе [1].

В ходе усовершенствования антенн усложнялась их конструкция, из-за чего появлялись принципиально новые их классы, расширялись выполняемые ими функции. Как правило, антенны из простых устройств, превращались в сложные конструкторские системы, которые состоят из множества более мелких элементов.

Исходя из этого, можно сказать, что конструкции трансформируемых космических антенн изготовлены на принципах изменения геометрии объекта, например, таких, как механическое развертывание или выдвижение стержней, наполнение воздухом компактно сложенных структур и натягивание мембраны между элементами конструкции.

Зональная антенна Френеля (ЗАФ) – это такая антенна, поверхность на которой делится на отражающиеся и не отражающиеся зоны. Форма и размеры этих зон выбираются так, чтобы отраженные волны складывались в одной точке. Она состоит из множества плоских концентрических колец, расположенных в одной плоскости [2].

На рисунке 1 а, изображена ЗАФ сбоку, в разрезе, где: 1-металлические кольца, 2- диэлектрическое основание, 3- центральный диск, 4- конвертор.

На рисунке 1 б, изображена ЗАФ, вид спереди.

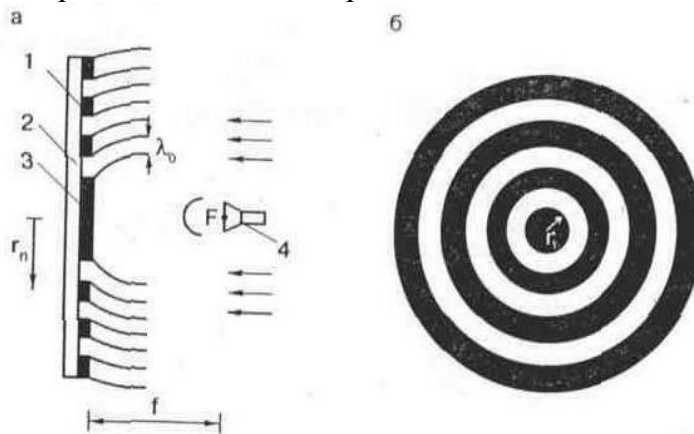


Рисунок 1 - Схематическое изображение ЗАФ

Главное достоинство ЗАФ - простота технологии изготовления, так как является плоской.

Из недостатков ЗАФ, можно выделить маленький коэффициент усиления (КУ) по сравнению с параболической антенной имеющей такой же диаметр, это связано с тем, что вся энергия сигнала, падающая на полотно антенны, направляется к облучателю. При условии слабого сигнала, даже незначительное ухудшение коэффициента усиления может привести к поражению сигнала шумами. Для того что бы нивелировать данный недостаток КУ ЗАФ, следует увеличивать диаметр антенны, хотя при достаточной мощности спутникового ретранслятора и при больших углах места для данной точки приема данная антенна может обеспечить хорошие результаты.

В ходе выполнения работы была рассчитана ЗАФ и пирамидальный рупор с частотой 8 гигагерц, после чего было проведено ее моделирование.

Моделирование ЗАФ производилось при помощи FEKO 7.0. HyperWorksFEKO 7.0 – это многофункциональный программный комплекс для численного электромагнитного моделирования, основанный на современных технологиях вычислительной электродинамики и позволяющий решать широкий круг исследовательских и прикладных задач.

Моделирование пирамидального рупора с центральным диском с частотой 8 гигагерц, показано на рисунке 2.



Рисунок 2- Пирамидальный рупор с центральным диском

В результате моделирования получаем ДН в 3D, изображенной на рисунке 3 и в полярной системе координат, рисунок 4 соответственно.

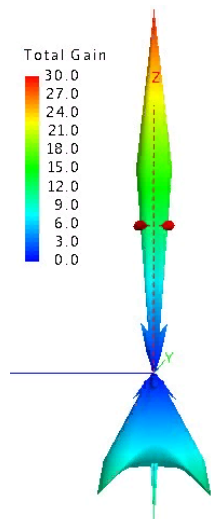


Рисунок 3 – Диаграмма направленности в 3D

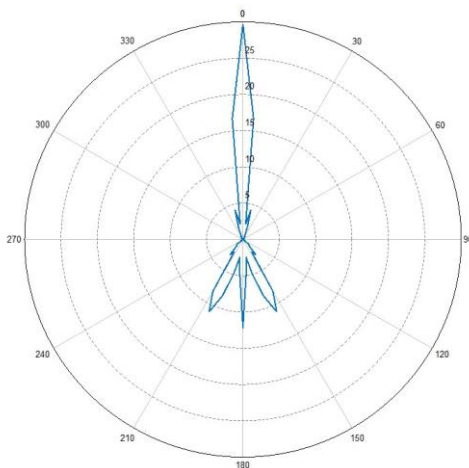


Рисунок 4 – Диаграмма направленности в полярной системе координат

Пирамидальный рупор с двумя отражающими зонами Френеля изображен на рисунке 5.

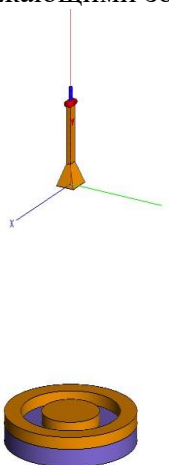


Рисунок 5 - Пирамидальный рупор с двумя отражающими зонами Френеля

В результате моделирования получаем ДН в 3D, изображенной на рисунке 6 и в полярной системе координат, рисунок 7 соответственно.

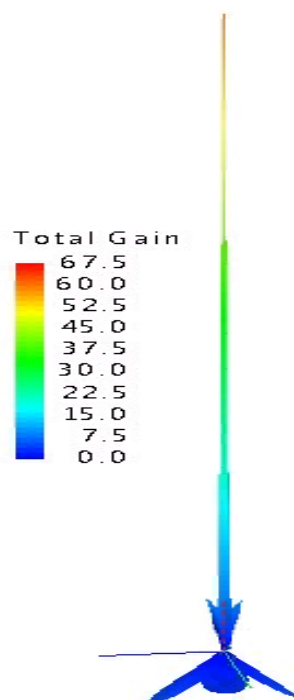


Рисунок 6 – Диаграмма направленности в 3D

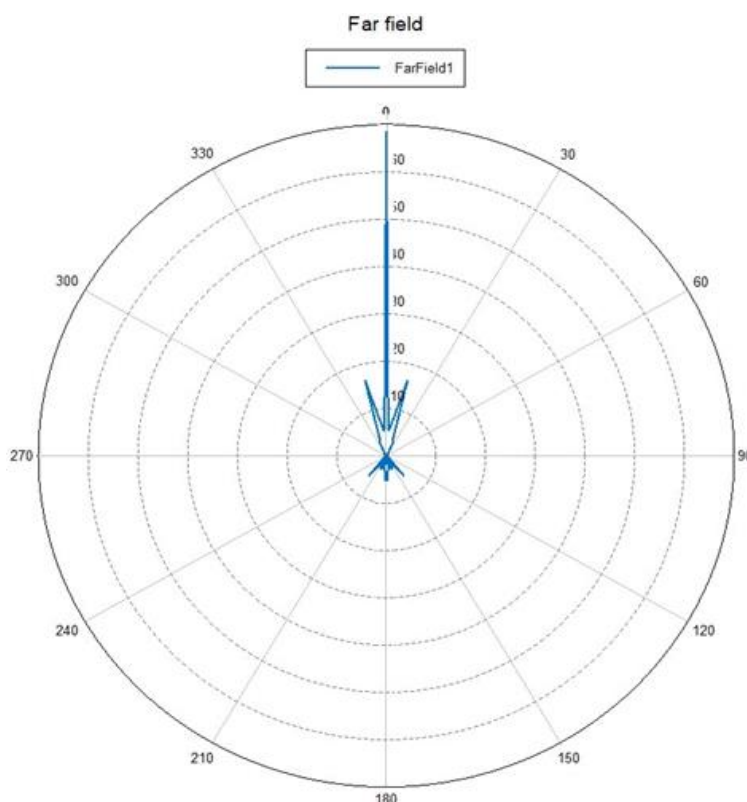


Рисунок 7 – Диаграмма направленности в полярной системе координат

Для уменьшения массы антенны, вместо металлических поверхностей используются металлизированные и радиопрозрачные материалы, это позволяет существенно снизить вес антенны, что облегчит и значительно снизит цену на ее транспортировку.

Конструкция складной антенны состоит из множества сот и представлена на рисунке 8.

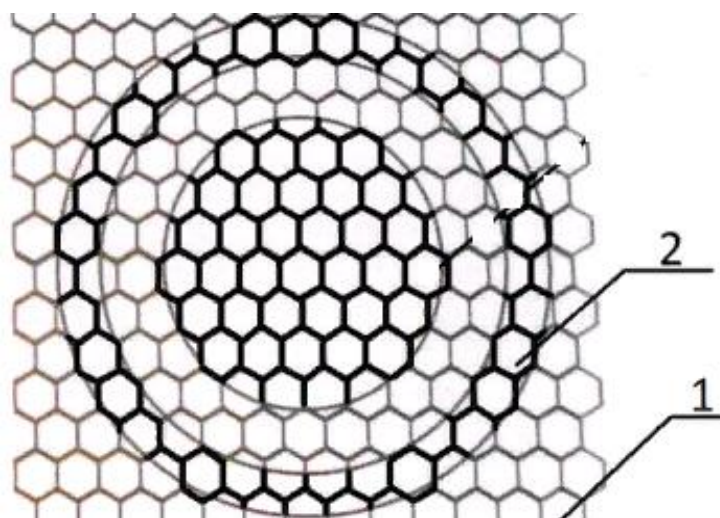


Рисунок 8 – Конструкция складной антенны в развернутом виде

где: 1- радиопрозрачный материал 2- металлизированный материал.
Способ сложения и раскрыва ЗАФ представлен на рисунке 9.

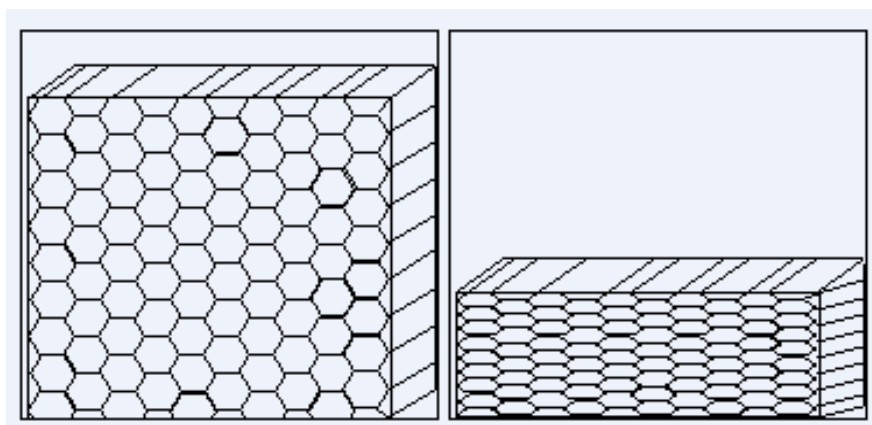


Рисунок 9 – Сложение зональной антенны Френеля

Принцип раскрыва зональной антенны Френеля, изображенной на рисунке 9, заключается в том, что при выходе спутника на орбиту, по команде от таймера счетчика, срабатывает пружина, которая крепится на противоположные части антенны, при срабатывании пружины, она «распрямляется», вследствие чего и происходит раскрыв антенны.

В данной работе был проведен поиск оптимальной антенной конструкции, отвечающей современным критериям и способа ее раскрыва. Причем данный антенный отражатель удовлетворяет поставленным задачам. С помощью описанного выше способа была решена задача усовершенствования конструкции антенного отражателя Френеля при сохранении его исходных параметров. Таким образом, использование данного антенного отражателя на основе сотовой конструкции позволяет снизить металлоемкость и массогабариты, а следовательно и экономические затраты при транспортировке [3].

Перечень ссылок

1. Лопатин, А.В. Обзор конструкций современных космических антенн (Часть 1) / А.В. Лопатин. – М.: Наука и техника, 2007.
2. Драбкин, А.Л. Антенно-фидерные устройства, учебник для ВУЗов / А.Л. Драбкин, А.Г. Кислов. – М.: Связь, 1974.
3. Паслён, В.В. Уменьшение массогабаритных параметров космических летательных аппаратов. Складной антенный отражатель Френеля / В.В. Паслен, С.В. Кайда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gisap.eu/ru/node/17887>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНУСНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ НА ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА FEKO

Онищенко И. Д., студ.; Паслен В. В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Зеркальные антенны относятся к наиболее распространенным типам направленных антенн в сантиметровом диапазоне волн. Такое широкое использование зеркальных антенн объясняется их свойствами: высоким коэффициентом усиления (КУ), а, следовательно, высоким коэффициентом полезного действия (КПД), малой шумовой температурой, а также получением почти любого типа диаграммы направленности и простотой конструкции антенной системы. Зеркальные антенны используются в радиорелейной связи, спутниковом телевидении и т.д. Главное свойство зеркальной антенны состоит в том, что лучи, выходящие из фокуса и отраженные от зеркала по законам геометрической оптики, оказываются параллельными друг другу и оптической оси. Типовыми представителями зеркальных антенн являются параболические антенны, которые могут выполняться в виде параболоида вращения, параболического цилиндра усеченного параболоида. Параболоид вращения возбуждается слабонаправленным облучателем, помещенным в фокусе. Параболическая антенна состоит из следующих основных элементов: металлического зеркала, облучателя, устройств защиты от атмосферных осадков и механизма вращения.

Статья посвящена подтверждению методом компьютерного моделирования теории, описывающей связь диаграммы направленности зеркальной антенны с положением облучателя относительно зеркала, а также установить компьютерным моделированием факт, что если облучатель находится в фокусе, то КУ антенны максимален, а ширина диаграммы направленности минимальна.

Исследование проводилось с однозеркальной антенной, выполненной в виде параболоида вращения с облучателем в виде конусного рупора. Заданы параметры: длина волны $\lambda = 3$ см, ширина главного лепестка по уровню (-3дБ) $\varphi_{0,707} = 4,5^\circ$. В результате расчета были получены: радиус раскрыва зеркала $R_0 = 11,25$ см, фокусное расстояние зеркала $f = 13,2$ см, радиус раскрыва конического рупора $r_0 = 1,845$ см, длина конического рупора $h_{\text{опт}} = 1,441$ см [1, с.168; 2, с. 297]. В качестве питающего волновода был выбран круглый волновод с радиусом равным: $R_v = 1$ см. Моделирование зеркальной антенны было проведено в программном продукте HyperWorks FEKO 7.0.

В ходе исследования конусный облучатель смещался вдоль фокальной оси. При смещении конусного облучателя вдоль фокальной происходит смещение фазового центра рупора из фокуса зеркала. Было установлено, что это отражается на уменьшении КУ и расширении главного лепестка диаграммы направленности.

Из проведенного исследования можно сделать вывод, чтобы коэффициент усиления зеркальной антенны максимален, когда конусный облучатель находится на высоте равной фокусному расстоянию от плоскости раскрыва зеркала. Фокус согласно расчетным соотношениям находится на высоте $f = 13,2$ см. Данное утверждение истинно, так как при этом наблюдается максимальный коэффициент усиления (175 ед.) и ширина главного лепестка диаграммы направленности по уровню (-3 дБ) имеет минимальное значение $4,5^\circ$.

Перечень ссылок

1. Чернышев В.П. Антенно-фидерные устройства радиосвязи и радиовещания: Учебник для техникумов связи. – М., «Связь», 1978. – 288 с.
2. Калашников А.М., Степук Я.В. Колебательные системы. –М.: Воениздат., 1972. – 376 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭРОПОРТА

Резникова К.С., студ; Паслен В. В., доц., к.т.н., зав. каф. РТЗИ

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В последние десятилетия птицы все чаще оказываются в ряду организмов, наносящих ущерб технике, контактируют с человеком в качестве источника биоповреждений. Столкновения самолетов с птицами приносят человечеству большие материальные потери и человеческие жертвы. Контакты человека и результатов его деятельности с птицами стали более тесными и приобрели особый характер, и, следовательно, должны учитываться при разработке соответствующих мер защиты от птиц. Птицы, являясь источниками биоповреждающих процессов, взаимодействуют со своими биоценотическими партнерами, и те вовлекаются в эти процессы и участвуют в биоповреждении. Так, на взлетную полосу птиц привлекают выползающие туда черви, так же как черви привлекают чаек и вороновых на поля, где они наносят вред сельскохозяйственным культурам [1].

В силу этих причин в аэропорту и в его окрестностях создается своеобразный аэродромный биоценоз со своими специфическими связями и отношениями.

Таким образом, борьба с птицами должна заключаться в изменении условий окружающей среды, с тем чтобы территория аэропорта не привлекала к себе ни птиц, ни млекопитающих. Международная организация гражданской авиации каждый год регистрирует в мире примерно 5 тысяч случаев столкновения воздушных судов с птицами. В России максимальное количество столкновений было зарегистрировано в 1987 году — 393 случая. В настоящее время фиксируется около 40 инцидентов за год.

Из-за того что численность птиц, в городской черте растёт, этот аспект является серьезной предпосылкой к летным происшествиям и, поэтому, ему посвящены специальные нормативные документы и различные научные разработки. Был подсчитан риск столкновений воздушного судна с птицами в зависимости от высоты полета[2]:

- до 100 м риск составляет 45,8%;
- 101–400 м – 28%;
- 401–1000 м – 12,7%;
- 1001–2000 м – 7,5%;
- 2001–5000 м – 5,2%;
- свыше 5000 м – 0,8%.

Все мероприятия по устранению условий, способствующих концентрации птиц, делятся на две группы: проводимые на аэродромах и на приаэродромной территории. К числу основных мероприятий, проводимых на аэродромах, относятся[2]:

- вырубка зарослей кустарников в пределах территории аэродрома и скашивание травяного покрова на летном поле до оптимальной высоты;
- исключение возможности попадания птиц в аэродромные сооружения (особенно ангары) путем загораживания имеющихся технологических проемов и отверстий проволочными или нейлоновыми сетками;
- осушение увлажненных и заболоченных участков на территории аэродрома путем их дренирования или засыпки;
- минимизация доступа птиц к пищевым отходам самолетных и аэродромных кухонь, организация хранения пищевых отходов в закрытых контейнерах и полная утилизация отходов в закрытых от птиц помещениях;
- устранение городских свалок промышленных и продуктовых отходов на удалении менее 30 км от зоны аэропорта с целью изменения путей миграции птиц от мест гнездования на кормежку и обратно;

- уменьшение возможности гнездования птиц на аэродромных сооружениях (ангарах, командно-диспетчерских пунктах и других зданиях и сооружениях) путем спиливания верхних ветвей деревьев, на которых расположены гнездовые колонии птиц, а также в момент самого начала гнездования птиц – сбивание гнезд с помощью водомета;

- запрещение использования территории аэродрома для посева сельскохозяйственных культур, привлекающих птиц;

- одновременное применение нескольких способов отпугивания птиц (например, воспроизведение криков бедствия и стрельба из ракетниц и ружей, установка отпугивающих предметов и стрельба из ракетниц) при соблюдении их периодического чередования для повышения эффективности.

Орнитологическая опасность зависит также от вида птиц, находящихся в зоне аэропорта. Чаще всего на таран самолета идут чайки: 45%, дневные хищные птицы — 12%, совы — 10%, воробьиные и кулики — по 7% и другие птицы — 12%.

Планирование мероприятий по орнитологическому обеспечению полетов производится, как правило, на период от 1 до 3 лет. План мероприятий разрабатывается руководителем авиапредприятия с привлечением необходимых специалистов аэропорта и местных биологических учреждений. План мероприятий должен предусматривать организацию и проведение:

-работ по выявлению и ликвидации условий, способствующих концентрации птиц на аэродроме и прилегающей территории;

-визуального и радиолокационного контроля за орнитологической обстановкой;

-мер по оперативному отпугиванию птиц от аэродрома;

-анализа орнитологического обеспечения полетов;

-проведение занятий с работниками аэропорта по авиационно-орнитологической тематике;

-других мероприятий, обусловленных спецификой работы аэропорта и местной орнитологической обстановки.

Так же следует учитывать орнитологическую обстановку в периоды годовой активности птиц:

1. Зимний период (декабрь-февраль) – период низкой активности птиц, бедного видового состава, относительно простой и стабильной орнитологической обстановки;

2. Весенний период (март-май) – период массовой миграции птиц;

3. Раннелетний период (май-июнь) – период гнездования большинства видов птиц
Позднелетний период (июль-август) – период массового вылета птенцов;

4. Осенний период (сентябрь-ноябрь) – период массовой миграции птиц

В зависимости от класса аэропорта, который определяется годовым объемом перевозок и годовой интенсивностью движения самолетов, предъявляются различные требования к необходимому оборудованию и персоналу. Эти требования регламентированы в руководстве по орнитологическому обеспечению полетов в гражданской авиации (РООП ГА-89) [2]. В РООП ГА, в качестве мер борьбы с птицами, предлагаются различные виды отпугивающего птиц оборудования, наиболее распространенными из которых являются:

1. Биоакустические отпугиватели, которые представляют собой передвижной комплекс, генерирующий тревожный сигнал по алгоритмам специальной программы. Эти самые гуманные устройства, помогают прогнать птиц с насиженной территории с помощью комбинации специальных звуков. К недостаткам [3] относится то, что эти приборы узконаправленные, то есть отпугивают только один вид птиц в единицу времени;

2. Громпушка, отпугивающая птиц, издавая сильный звуковой хлопок, похожий на гром [3]. Устройство настраивается таким образом, чтобы не вызвать привыкания к звукам. Одной из особенностей пушки является ее всепогодность;

3. Противоприсадные струны их создают для большинства птиц непреодолимые препятствия для посадки. Устанавливается в местах дневного и ночного отдыха и наблюдения птиц, местах устройства гнезд. Представляет собой стальной оцинкованный трос диаметром

до 1 мм. Растягивается на одинарных кронштейнах-стойках высотой в одну линию и на трехстоечных кронштейнах-гребенках - в три линии;

4. Надувные виниловые шары с нарисованными на них глазами хищной птицы оказывают отпугивающее действие на птиц, идеальны для защиты от уток и других водоплавающих птиц. Шары надуваются обычным воздухом и закрепляются в таком месте, чтобы птицы могли их видеть издалека;

5. Противоприсадные шипы. Поскольку птицам необходимо проводить свободное время в безопасных местах с хорошим обзором, оснащение таких излюбленных мест противоприсадными устройствами сильно уменьшает привлекательность для птиц территории в целом.

Помимо этого, в настоящее время разработаны и применяются отпугиватели, не регламентированные в РООП ГА-89, такие как:

1. Ультразвуковой отпугиватель, принцип действия которого основан на том, что колебание ультразвуковых частот вызывает у пернатых страх возможной опасности, и инстинкт самосохранения не позволяет им обосноваться в этом месте. Основным недостатком является небольшая площадь отпугивания.

2. Лазерные отпугиватели, принцип действия которых основан на том, что птица воспринимает как угрозу для жизни яркий быстро перемещающийся луч. В основном применяются в аэропортах Европы, Америки и Азии. Приборы изготовлены на базе лазеров красного или зелёного цветов. Эффективная рабочая дистанция - 800 м. К недостаткам относится малая эффективность в светлое время суток.

3. Хищные птицы также широко применяются для борьбы с орнитологической угрозой. Их главная задача испугать птиц своим присутствием.

Таким образом, актуальной задачей является разработка рекомендаций для аэропортов различных категорий по применению оборудования, не предусмотренного в РООП ГА. Применение современных методов отпугивания птиц позволит снизить орнитологическую опасность и повысить безопасность полётов.

Орнитологическое обеспечение полетов в гражданской авиации, один из самых значимых пунктов в структуре обеспечения безопасности полетов, и относиться к нему надо с не меньшей важностью, чем к другим видам деятельности осуществляющих безопасность движения воздушных судов гражданской авиации. Поэтому эта сфера нуждается в ее постоянном обновлении с учетом развития науки, техники и практики, и с соответствующим обновлением нормативно-правовой базы.

На кафедре радиотехники и защиты информации ведутся работы по выявлению причин столкновения птиц с самолетами, разработки рекомендаций по защите аэропортов и аэродромов от пернатых (с нанесением им минимальных повреждений) и разработкой технических устройств предотвращения столкновений самолетов с птицами.

Перечень ссылок

1. Руководство по орнитологическому обеспечению полетов в гражданской авиации (РООП ГА-89) [Электронный ресурс] URL: http://otpugivanie.narod.ru/documents/ROOP_GA-89.pdf.

2. В.В. Паслён, В.В. Янголь. Повышение надежности системы орнитологического обеспечения безопасности полетов самолетов коммунального предприятия «Международный аэропорт Донецк» / В.В. Паслен, В.В. Янголь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2012/frt/yangol/diss/index.htm>

3. А.И. Рогачев А.М. Лебедев. Орнитологическое обеспечение безопасности полетов. - М.: Транспорт, 1984.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОМЕХ В ДИАПАЗОНЕ 87.5 – 108 МГц**Стальнов Д.С., студент; Паслен В. В., к.т.н., доцент;***(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

Большинство существующих радиоэлектронных приемопередающих систем содержит в себе три основные части: передающее устройство, приемное устройство и промежуточное звено - соединяющая линия. Роль промежуточного звена выполняет среда, то есть пространство, в котором распространяются радиоволны. Именно в этой среде планируется воздействовать генератором шума. Генератор шума – это устройство предназначенное для генерирования и создания «белого шума», который препятствует сторонним устройствам обрабатывать полученную информацию.

Объектами воздействия генераторов шума, являются системы управления войсками, комплексы обнаружения объектов, системы управления вооружением использующие в своей работе радиоканал. Для создания радиопомех используются активные или пассивные устройства передачи сигнала. К активным относятся средства использующие принцип генерирования (например, передатчики, станции помех). К пассивным относят принцип отражения (например, дипольные и уголкового отражатели).

В настоящее время одной из главных отраслей применения генератора (шума) помех является радиоэлектронная борьба (РЕБ). РЕБ представляет собой комплекс согласованных мероприятий и действий войск направленных на блокирование или ограничение всевозможных средств противника.

Целью данной работы является исследование особенностей распространения шумовых помех в метровом диапазоне путем имитационного моделирования в программном продукте HFSS 14.0. Данный вопрос является актуальным в настоящее время. Зная специфику распространения шумоподобного сигнала и применяя новейшие методики в моделировании его распространения, появляется возможность создать уникальное средство РЕБ. На данном этапе мною создана физическая модель генератора помех работающая в диапазоне от 87.5 МГц и вплоть до 108 МГц. Данное устройство способно выдавать сигнал мощностью 75 мВт, что позволяет защитить комнату средних размеров от устройств работающих на данных частотах.

Для равномерного распределения мощности во всем диапазоне частот используется двухплечевая схема включения. Данный метод позволяет подключить сразу несколько антенно-фидерных устройств, настроенных на разные частотные области. Мною были применены две штыревые антенны с резонансными частотами 90МГц и 100МГц, соответственно. Данные антенны подсоединены непосредственно к выходным усилителям мощности (УМ), что исключает применение фидера имеющего фиксированные номиналы волновых сопротивлений. Как следствие мною была рассчитана антенна с волновым сопротивлением 45 Ом, что является выходным сопротивлением УМ. Генерируемое устройство формирует помехи вплоть до 350МГц(максимальная частота работы транзистора), а фиксированное волновое сопротивление УМ позволяет подключать антенны с произвольной резонансной частотой рассчитанной на 45 Ом, что позволяет осуществлять передачу сигнала с максимальным согласованием во всем диапазоне рабочих частот .

Перечень ссылок

1. Куприянов, А. И. Радиоэлектронная борьба / А. И. Куприянов. – М.: Связь, 2013. – 360 с.
2. Грудинская, Г. П. Распространение радиоволн / Г.П. Грудинская. – М.: Высшая школа, 1967. – 244 с

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С БЫСТРОСМЕННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ

**Волобуев В.С., Шульга О.Н., Романенко В.Г., магистранты; Паслен В.В., доц., к.т.н.,
зав. каф. РТЗИ**

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Корпоративные сети и системы связи – неотъемлемая часть инфраструктуры функционирования технологического процесса. Особую значимость приобретают корпоративные сети и системы связи в условиях, когда технологический процесс осуществляется на объектах, расположенных на обширной территории.

В случае расположения двух офисов находящихся в пределах одного территориального объекта или здания, чаще всего используют витую пару. При необходимости организации связи с территориально-распределенными объектами используют оптико-волоконную линию связи (ОВЛС) или радиоканал.

Очевидно, при сравнении оптико-волоконной линии и радиоканала мы остановимся на последнем. Радиоканал имеет ряд преимуществ: во-первых, короткий срок организации связи, во-вторых, в городах с плотной застройкой не всегда удобно и эффективно прокладывать кабельную линию, и последним, решающим пунктом, является экономическая эффективность. Затраты на организацию ОВЛС выше, чем для радиоканала. При этом важным условием для организации радиосвязи, является наличие прямой видимости между соединяемыми объектами.

С помощью антенной системы с быстросменной ориентацией возможна организация линии связи между главным офисом и территориально-распределенными объектами. В назначенное время по определенному закону антенна изменяет свое пространственное положение по направлению к нужному зданию.

Использование антенны с быстросменной ориентацией выгодно с экономической точки зрения. Одна антенная система заменяет несколько антенн, направленных на определенный удаленный объект.

Проектируемая антенна состоит из одного активного несимметричного вибратора, пассивного вибратора (рефлектора) и директора [1]. Общий вид антенны показан на рис 2.

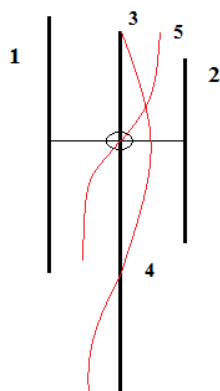


Рисунок 2 – Изображение проектируемой антенны

На изображении под номером 1, показан рефлектор, который настроен так, чтобы ток который в нем возникает опережал по фазе ток активного вибратора. При этом напряженности полей, создаваемых активным вибратором и рефлектором, в направлении максимального излучения имеют благоприятное соотношение фаз. Директор изображен под номером 2 и

настроен иначе, ток в нем опаздывает по фазе по отношению к току активного вибратора. Это позволяет в направлении максимального излучения получить благоприятное соотношение фаз полей. Под номером 3 показан активный вибратор. На изображении под номером 4, изображено распределение тока. Под номером 5 показано распределение напряжения.

Особенностью данной антенной системы является то, что используется несимметричный вибратор только в том месте, где распределение тока соответствует симметричному излучателю, что показано на рис. 3.

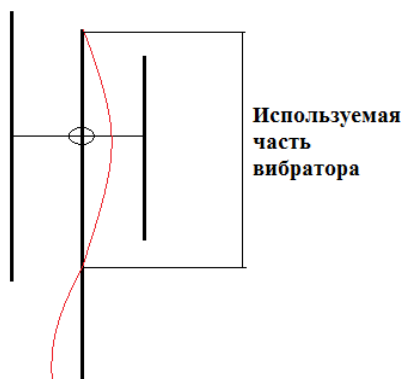


Рисунок 3 – Используемая часть вибратора

В программном продукте MMANA-GAL [2], который предназначен для расчета и анализа антенн, была получена модель данной антенны, коэффициент усиления которой в точке своего максимума доходит до 7,2 дБ. Диаграмма направленности показана на рис. 4.

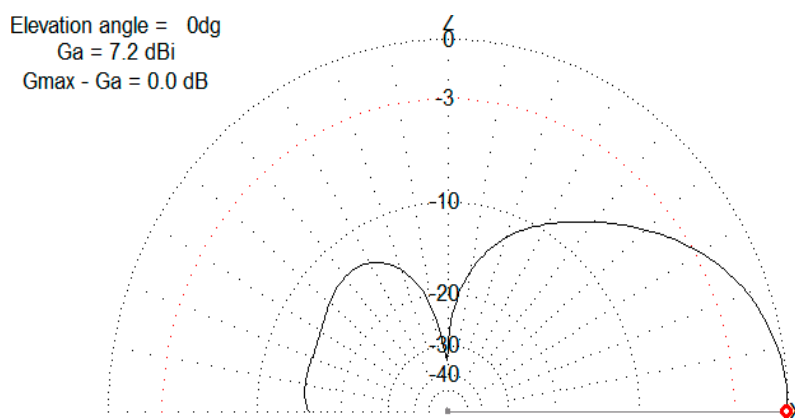


Рисунок 4 – Диаграмма направленности антенной системы

Также возможно еще большее усиление электромагнитной волны антенны с помощью добавления дополнительных директоров. Для поворота антенны может использоваться любое опорно-поворотное устройство по азимуту.

Таким образом, было произведено моделирование вибраторной антенны дециметрового диапазона. Получена модель антенны в ПО MMANA-GAL. Коэффициент усиления в точке своего максимума составил 7,2 дБ, что является очень хорошим результатом.

Перечень ссылок

1. Марков, Г.Т. Антенны / Г.Т. Марков, Д.М. Сазонов. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.
2. Гончаренко, И.В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA / И.В. Гончаренко. – М.: РадиоСофт, 2002. – 80 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ GPON

Зиновьев Е.И., студ.; Паслен В.В., доц., к.т.н., зав. каф. РТЗИ

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Построение мультисервисной высокоскоростной сети с предоставлением набора соответствующих современным стандартам качества услуг требует использования такого оборудования, которое поддерживает пропускные способности и качественные характеристики, которые еще не используются широко и уверенно, по крайней мере сегодня. Это приводит к выводу, что проект такого типа является актуальным и целесообразным.

В задачи проектов построения мультисервисных сетей входит обеспечение потенциальных абонентов такими услугами, которые являются для них интересными сегодня и на определенный срок вперед, и выгодность именно для них пользования этими услугами. С другой стороны, окупаемость объекта проектирования определяет, возможен ли вообще такой вариант построения сети, когда это имеет смысл.

Большой проблемой большинства сетей доступа является невозможность организации других услуг, кроме выхода в Интернет, потому что технологии построения этих сетей не поддерживают необходимые для качественного предоставления услуг реального времени параметры QoS. Это также делает задачу проектирования, основанный на использовании волоконно-оптических кабелей и современных FTTx-технологиях актуальной.

Целью работы является достижение определенного социального, экономического эффекта. Социальным эффектом является предоставление абонентам услуг, которые удовлетворяют их потребностям и приводят к улучшению условий жизни и труда. Область применения - дома частного сектора с наличием домов двух - и пятиэтажных. Сеть может использоваться для передачи информации любого типа, обеспечивает оптическое волокно, которое дает такие линии связи, которые будут работать и буди выгодными на годы вперед.

Объект, для которого проектируется сеть состоит из двух жилых районов «Красных партизан» Пролетарского района и жилого района в Ленинском районе города Донецка (рис.1). На данный момент эти районы похожи по своему составу.

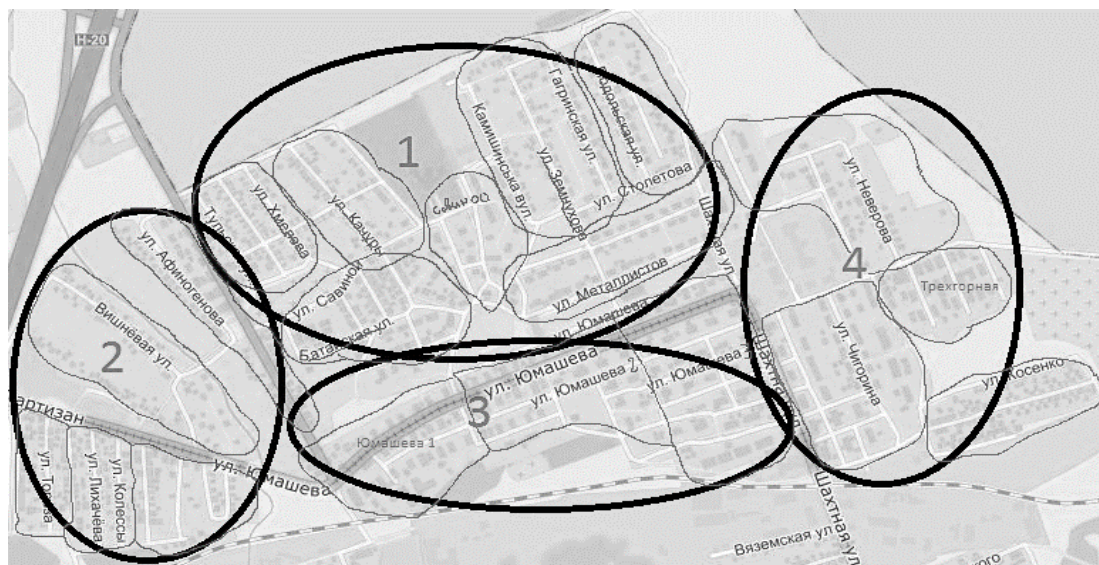


Рисунок 1 - Схема размещения зданий

Каждый район имеет школу, больницу, несколько зданий для частных предприятий, торговые точки, государственные учреждения и жилые дома (многоэтажные и одноэтажные), третья часть всех зданий - многоэтажные. Населения районов «Красных партизан»

Пролетарского района и жилого района в Ленинском районе города Донецка насчитывает примерно 6000 и 3000 жильцов.

Сетевая инфраструктура должна быть в состоянии предоставить офисным абонентам услуги широкополосный доступ и телефонии, и частным абонентам - услуги передачи данных, голоса и видео по одному каналу - Triple Play - высокоскоростной доступ в Internet, IPTV и VoIP. Есть возможности подключения многих производных услуг, базирующихся на вышеупомянутых основных типах услуг. Это такие услуги, как организация частных видеосерверов для абонентов.

В зависимости от типов услуг, предоставляемых абонентам, можно выделить следующие категории обслуживания (табл.1.1-1.2):

Таблица 1.1 - Соответствие групп абонентов к типам услуг для частных фирм

№ группы абонентов	Название группы	Internet	IP T V	V o I P	Data Base	Видеоконференц-связь	Передаваемых файлов	Электронный документо-оборот
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	бизнес	+		+	+	+	+	+
2	бизнес +	+	+	+	+	+	+	+
3	Гос. учреждения	+		+	+		+	+

Таблица. 1.2 Соответствие групп абонентов к типам услуг для физических лиц

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Макс.	+	+	+			+	
5	Стандарт	+	+				+	
6	Социальный	+		+			+	

К первой группе относятся абоненты частных фирм, для них разработаны два вида тарификации, то есть для малых и больших предприятий. Районы имеют много госучреждений, поэтому для них надо сделать отдельный тариф. Предполагается три вида тарифов для физических лиц.

Основываясь на избранных типах услуг определенных категориях необходимо разработать информационную модель сети (рис.1.2), которая будет отображать взаимодействие ключевых элементов между собой и перераспределение сетевой нагрузки. Все группы абонентов через сеть передачи данных сочетаются с главным узлом, который поставляет все планируемые типы трафика в сеть. Каждый тип трафика руководствуется соответствующим специализированным устройством. Для размещения архивной базы данных видео и другого типа используются серверы, которые также размещены на главном узле. К главному узла данные поступают через шлюзы от определенных поставщиков трафика. Информационная модель является схемой, ставит в соответствие услуги в сети и логические группы абонентов, и то, благодаря которым решением этот доступ можно организовать. То есть в первую очередь, это логическая схема сети.

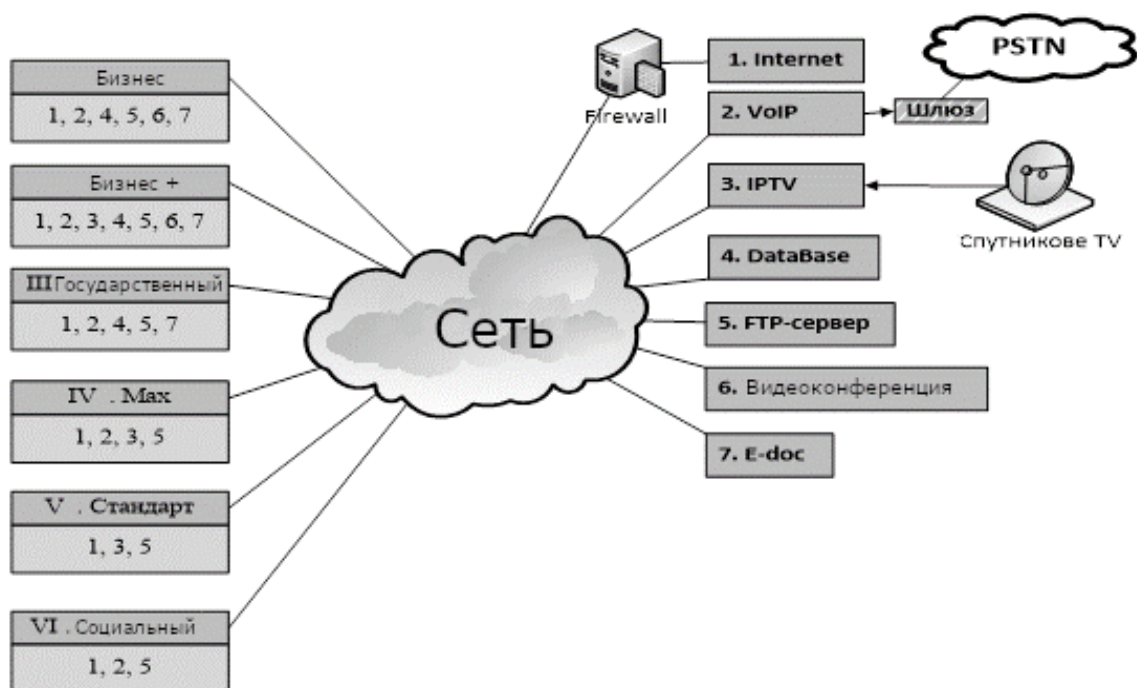


Рисунок 2 - Информационная модель сети передачи данных

В этой статье проведен анализ объекта, для которого проектируется сеть, приведена карта комплекса. Предоставлено обоснование актуальности проектирования, предоставляющая услуги Triple Play в районе данного типа. Для каждой из услуг сформированы требования относительно параметров QoS, и избран величины полосы пропускания.

Абонентский состав разделен на 6 категорий обслуживания согласно типам услуг, требующих конкретные абоненты. Проведено проектирование информационной модели сети, отражает взаимодействие абонентов и категорий услуг. Типичное размещение зданий по территории, типичные варианты планировки самих зданий, типичные запросы по услугам для этого времени делают этот проект типичным на рынке телекоммуникационных услуг.

При проектировании оптоволоконной линии связи с использованием технологии GPON, на кафедре радиотехники и защиты информации было проведено имитационное моделирование, которое подтверждает возможность реализации данной технологии в физической среде, в соответствии с заданными параметрами.

Перечень ссылок

1. Сюваткин В.С. GPON-технология современной связи: В.С. Сюваткин. - СПб.: БХВ - Петербург, 2011. - 179 с.
2. Шварц М.Б. Сети связи: М.Б. Шварц. - М.: Техносфера, 2009. - 250 с.
3. Сюваткин В.С. Оборудование GPON: Сюваткин В.С., Есипенко В.И., Ковалев И.П. - СПб.: БХВ - Петербург, 2011. - 150 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Колесник А.В, студ.; Паслен В.В., доц., к.т.н., зав. каф. РТЗИ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

Интенсивное развитие информационных технологий повлияло на все сферы человеческой деятельности, в том числе инженерную деятельность и образование. На сегодняшний день, при помощи компьютеров с соответствующим программным обеспечением возможно автоматизированное получение трехмерных моделей всевозможных устройств, вычисление их параметров и характеристик, создание технической документации и т. п. В наши дни сложно представить, чтобы какое-либо предприятие обходилось без использования систем автоматизированного проектирования (САПР), ведь это значительно снижает временные и материальные затраты на разработку и исследование объектов.

Будущие инженеры должны уметь пользоваться существующими, а также принимать участие в разработке новых САПР. Имеет смысл применение программ данного рода в образовательном процессе и с другой стороны. Они должны помочь учащимся и студентам лучше представлять себе процессы, происходящие в объектах, которые не видны невооруженным глазом, ведь САПР позволяют визуализировать и анимировать эти процессы, а как известно зрительное восприятие для человека является самым емким.

Одной из таких САПР является программный продукт CST Microwave Studio. Это мощная программа трехмерного моделирования электромагнитного поля. Программа использует различные методы расчета (расчет переходного процесса во временной области, анализ в частотной области, метод нахождения собственных частот) для моделирования сложных СВЧ структур [1]: фильтров, антенн, циркуляторов, аттенуаторов и т.д. Основной метод – расчет переходного процесса – решает задачи возбуждения СВЧ структуры радиоимпульсами, что отличает ее от большинства других программных продуктов.

В качестве практического примера рассмотрим моделирование двойного волноводного разветвления (Т-моста). Разветвления волноводов используются для распределения высокочастотной энергии, передаваемой по волноводам, между различными каналами и потребителями. Наибольшее применение находят тройники, или Т-соединения, получившие такое название из-за своей формы. Они делятся на тройники Е-типа и Н-типа. Внешний вид тройников представлен на рис. 1 [2]. Волна может возбуждаться в одном из плеч главного волновода и ответвляться в боковой волновод или, наоборот, возбуждаться в боковом волноводе и ответвляться в плечи главного волновода.

Предположим, что волна H_{10} возбуждается в боковом волноводе и распространяется к Т-соединению. Таким образом, в обоих плечах главного волновода волны, равноудаленные от оси симметрии соединения, будут находиться в фазе для тройника типа Н и в противофазе для тройника типа Е [2]. Это видно из распределения электрического поля в Т-соединении, показанном на рис. 1.

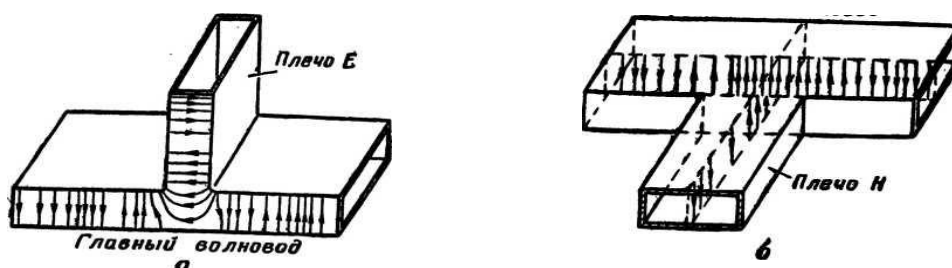


Рисунок 1 – Волноводные тройники: а – типа Е, б – типа Н

Очевидно, что такое распределение поля не изменится, если волна будет возбуждаться в одном из плеч главного волновода.

Пусть из обоих плеч главного волновода к Т-соединению волны приходят в противофазе. Тогда в боковом волноводе они будут складываться при Е-соединении и вычитаться при Н-соединении. Если же придут синфазные волны, то они вычтутся в Е-плече и сложатся в Н-плече.

Таким образом, принцип работы двойного волноводного разветвления, показанного на рис. 2 основан на свойствах Е- и Н-тройников [2].

Если из боковых волноводов приходят к двойному Т-соединению две волны H_{10} с равными амплитудами и противоположными фазами, то они складываются в плече Е и взаимно компенсируются в плече Н. Отсюда следует и обратное: энергия волны H_{10} , приходящая к двойному Т-соединению из плеча Е, распределяется поровну в боковых плечах и не проходит в смежное плечо Н.

Если из боковых плеч приходят две волны H_{10} с равными амплитудами и фазами, то они складываются в плече Н и взаимно компенсируются в плече Е. На основании свойства обратимости можно сделать вывод, что энергия волны H_{10} , приходящей из плеча Н, делится поровну между боковыми плечами главного волновода и не попадает в смежное плечо Е.

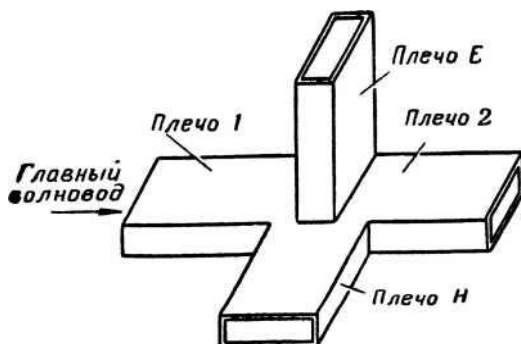


Рисунок 2 – Двойной волноводный тройник (Т-

Очевидно, что плечи Е и Н двойного Т-моста взаимно развязаны, т. е. энергия волны H_{10} не может переходить из плеча Н в плечо Е и наоборот.

Если волна H_{10} распространяется из бокового плеча 1, то в боковое плечо 2 ответвляются синфазная волна при Н-соединении и противофазная волна при Е-соединении. При наличии двух соединений в боковой волновод 2 энергия вовсе не попадает; таким образом, плечи главного волновода 1 и 2 также развязаны. Эти свойства двойного Т-соединения сохраняются только при чисто бегущих волнах, т. е. при согласовании волноводов. Если, например, плечи 1 и 2 главного волновода не согласованы, то при распространении энергии из плеча Н появится волна в плече Е, причем ее амплитуда зависит от коэффициента отражения в плечах 1 и 2. На работу двойного Т-соединения влияет реактивное сопротивление, вносимое волнами высших порядков. Для компенсации реактивных сопротивлений двойного Т-соединения вблизи него включают согласующие устройства.

В результате моделирования в программном продукте CST Microwave Studio, были получены распределения электрического поля внутри устройства при возбуждении разных плеч. Диаграммы распространения электрического поля и распределения его фазы показаны на рис. 4-6.

Из полученных диаграмм видно, что при возбуждении плеча 1 (плечо Н) или плеча 4 (плечо Е) по-отдельности волны в равной степени ответвляются в симметричные боковые плечи 2 и 3. Плечи Е и Н взаимно развязаны, поэтому волны из одного плеча в другое распространяться не могут. С другой стороны, при возбуждении плеч 2 и 3 происходит распространение волны в плечо Е, если они приходят в противофазе и в плечо Н – если в фазе.

Данные результаты полностью подтверждают имеющиеся по этому поводу теоретические сведения, что говорит о корректности работы программы и ее эффективности.

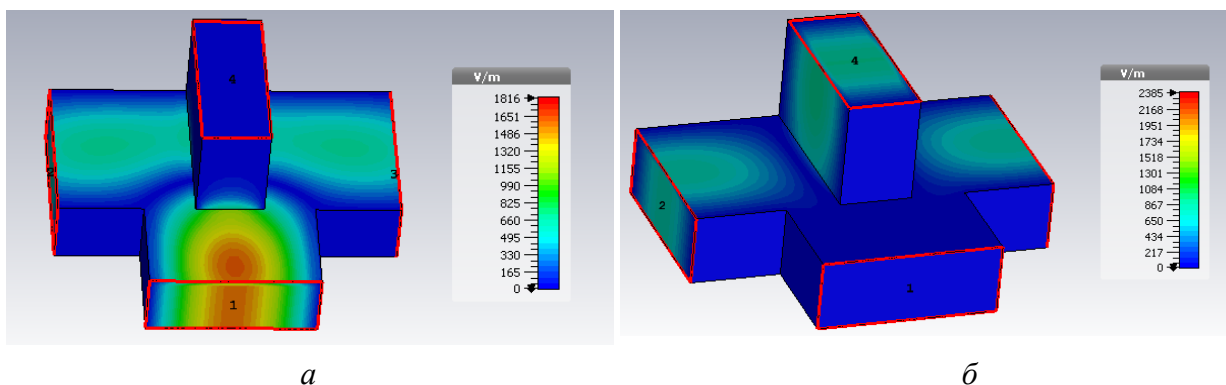


Рисунок 4 – Диаграммы распространения электрического поля внутри двойного T-моста при возбуждении: а-плеча 1 (плеча Н), б-плеча 4 (плеча Е)

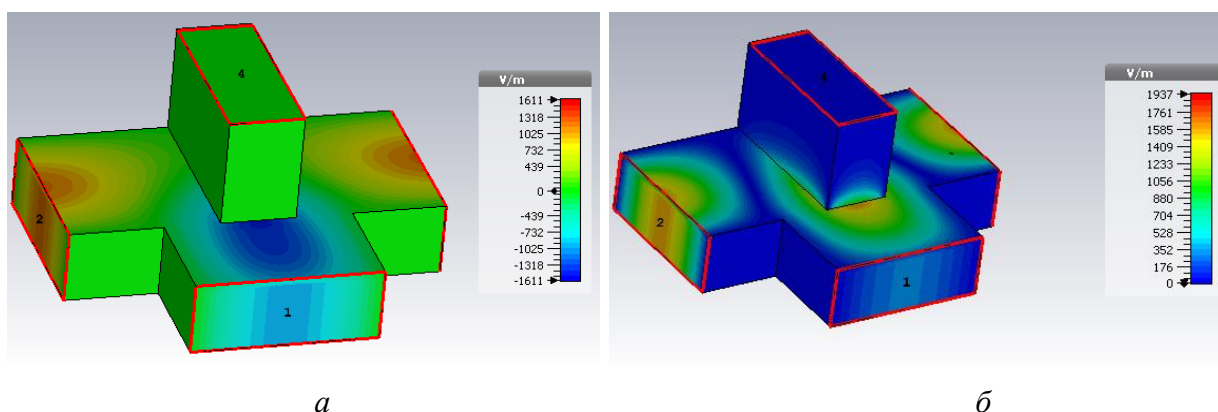


Рисунок 5 – Диаграммы распределения фазы (а) и распространения электрического поля (б) внутри двойного T-моста при синфазном возбуждении плеч 2 и 3

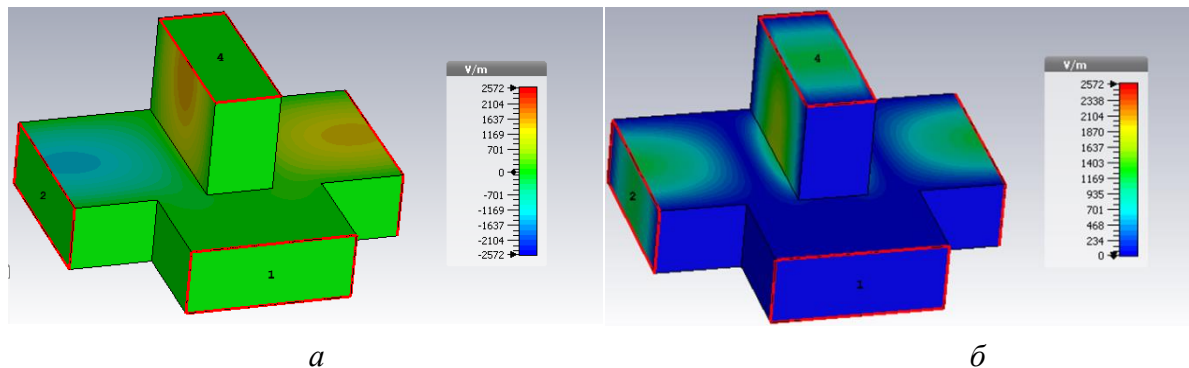


Рисунок 6 – Диаграммы распределения фазы (а) и распространения электрического поля (б) внутри двойного T-моста при противофазном возбуждении плеч 2 и 3

Таким образом, САПР – это не только средство разработки современных устройств и проведения научных исследований, но и неотъемлемая часть обучения благодаря замечательной возможности продемонстрировать то, чего ранее нельзя было показать. Применение САПР при обучении должно улучшить восприятие и усвоение новых знаний.

Перечень ссылок

1. Курушин, А. А. Школа проектирования СВЧ устройств в CST STUDIO SUITE / А. А. Курушин. – М.: One-Book, 2014. – 433 с.

2. Калашников, А. М. Колебательные системы: учеб. пособие / А. М. Калашников, Я. В. Степук. – М.: Воениздат, 1972. – 376 с.

УДК 621.396.677.029.66: 621.38

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА HFSS

Павловская А.А., студ.; Паслен В.В., доц., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Щелевые антенны - один из типов антенн, наиболее часто применяемых на летательных аппаратах (ЛА) в диапазоне ультракоротких волн. В основном применяются прямолинейные (полуволновые) и кольцевые щели, но иногда используются щели другой формы: крестообразные, уголковые, U-образные и др. Место установки щелевых антенн на корпусе ЛА и число антенн, которые входят в антенную систему зависит от требуемых показателей.

Впервые возможность использования антенн в виде щелей была доказана

М. С. Нейманом, который исследовал излучение из малых отверстий полых резонаторов. Дальнейшее развитие теории щелевых антенн продолжили два других советских ученых – А. А. Пистолькорс и Я. Н. Фельд.

Простейшая щелевая антенна представляет собой прорезанное в большом металлическом экране узкое прямоугольное отверстие длиной примерно равной половине длины волны. В технике СВЧ в качестве излучающих элементов применяются щели, прорезанные в волноводах, но могут использоваться также щели в металлических пластинах или фольге, возбуждаемые самым разнообразным образом с помощью полосковых линий. При подключении источника высокой частоты между узкими краями щели, расположенными противоположно, в ней возбуждаются стоячие волны.

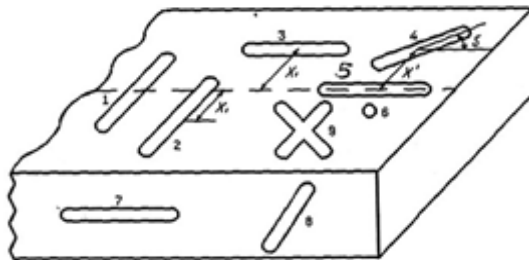


Рисунок 1 – Щели на стенках волновода

Если поляризация поля излучения совпадает с направлением электрических силовых линий в антенне, то горизонтальная щель будет излучать вертикально поляризованные волны, т.е. по своей работе данная антенна будет подобна вертикальной.

Нами подтверждены расчеты параметров волноводно-щелевой антенны методом компьютерного 3D моделирования, которые доказывают теорию сужения диаграммы направленности щелевой антенны с увеличением количества щелей.

Для приведенных исследований были установлены следующие параметры: длина волны $\lambda = 3\text{ см}$; внутренние размеры волновода: широкая стенка волновода $a = 25,91\text{ мм}$; узкая стенка волновода $b = 12,95\text{ мм}$, длина волновода - $37,904\text{ мм}$; ширина щели – $2,4\text{ мм}$; резонансная длина щели – $10,352\text{ мм}$ (резонансная длина щели зависит от смещения ее относительно середины широкой стенки волновода).

В результате исследования были получены: диаграммы направленности антенны с одной и двумя щелями. Моделирование волноводно-щелевой антенны проводилось в программном продукте Ansoft HFSS 13.0.

Программа HFSS версии 13 предназначена для проектирования трехмерных СВЧ устройств и использует несколько методов расчета. При решении важных практических задач, повышенное внимание уделяется особенностям методов расчета и установке опций программы HFSS в ходе построения трехмерных моделей волноводных, микрополосковых и антенных структур. Данную программу используют, преимущественно, инженерно-

технические работники, студенты и аспиранты, занимающиеся проектированием СВЧ устройств.

Результаты проектирования волноводно-щелевой антенны представлены на рисунках 2, 3, 4:

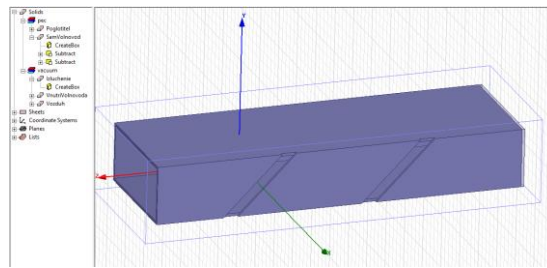


Рисунок 2 – Результат моделирования волноводно-щелевой антенны

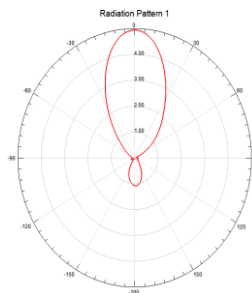


Рисунок 3 – Диаграмма направленности антенны с одной щелью

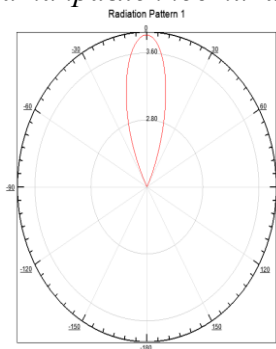


Рисунок 4 – Диаграмма направленности антенны с двумя щелями

Исходя из проведенного исследования нами были получены диаграммы направленности волноводно-щелевой фазированной антенной решетки. Можно сделать вывод, что при увеличении числа щелей антенны диаграмма направленности сужается, а коэффициент усиления увеличивается. Следовательно, увеличение числа щелей в волноводно-щелевой фазированной антенной решетке приводит к положительному результату и улучшению параметров антенны.

Перечень ссылок

1. Бекетов В.И. Антенны сверхвысоких частот: Учебник для техникумов связи. – М., «Связь», 1957. – 119 с.
2. Резников Г.Б., Антенны летательных аппаратов. –М.: «Советское радио», 1967. – 416 с.
3. Марков Г.Т., Сазонов Д.М., Антенны. – М., «Энергия», 1975. – 528 с.
4. Кюн Р., Микроволновые антенны. – М., «Судостроение», 1967. – 520 с.
5. Курушин А.А., Гутцайт Э.М. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS. – М., «Оркада», 2012. – 244 с.

УДК 621.396.6

ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ (по материалам открытых источников)

**Романенко В.Г., Шульга О.Н., Волобуев В.С., магистранты, Паслен В.В., к.т.н., доцент,
зав. кафедры РТЗИ**

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В настоящее время радиоэлектронная борьба находится в новой фазе своего бурного развития. Как показали события, ни один бой, ни одна операция любого вида вооруженных сил не начинается и не ведется без широкого применения сил и средств радиоэлектронной борьбы. При этом особое значение придается способам улучшения качественных характеристик постановочных помех. Усовершенствование постановочных помех является сложной задачей, поскольку весьма часто факторы, способствующие улучшению одного из свойств, вызывают нежелательное изменение другого[1].

Рассмотрены методы и средства подавления радиотехнических средств. Целью методов является эффективное информационное подавление радиотехнических средств позволяющих осуществить временное выведение из строя аппаратуры. Для решения поставленной задачи использованы материалы открытых источников.

В качестве источника помех использовались активные помехи. Технический результат экспериментальной части работы – снижение энергоемкости постановщика активной помехи и повышение эффективности подавления[2].

Мною в программном продукте LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) смоделирована принципиальная схема генератора шума основанного на белом шуме которые охватывает большой спектр частот. Шум распространяется по нормальному закону. Результаты исследования модели показали эффективность применения как заградительной, так и прицельной помехи. Воспользовался осциллографом, что бы проверить колебания шума на выходе в том что он находится в заданных пределах, а всплески шума идут без ограничения. Если наблюдать на осциллографе напряжение шумов, прошедших через катодный повторитель то можно заметить, что отдельные положительные и отрицательные всплески ограничиваются.

В результате обзора материалов открытых зарубежных источников можно сделать вывод что применение активных помех для подавления РТС не имеющих средств защиты от помех, не могут быть надежным видом информационной безопасности. Поэтому развитие системы активных помех постоянно сопровождается развитием средств радиопротиводействия, а это в свою очередь вынуждает непрерывно совершенствовать РТС.

Перечень ссылок

1. Палий А. И. Радиоэлектронная борьба / А. И. Палий. – М.: Военное издательство, 1989. - 350 с.
2. Ширман Я. Д. Справочник. Радиолокационные системы. Основы построения и теория / Я. Д. Ширман. – М.: Радиотехника, 2007. - 82 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МОДЕЛИ P-I-N-ДИОДА В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ HFSS

Тертышный О. И. студ.; Паслен В.В., доц., к.т.н., зав. каф. РТЗИ

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Развитие современных информационных технологий и инженерно-технических средств ведут к постоянному увеличению требований к специалистам. При проектировании современных радиосистем, основной задачей для инженера является максимальное соответствие рассчитываемой модели и реального устройства. Передовые системы моделирования позволяют использовать готовые модели радиокомпонентов широкого профиля, однако ни одна стандартная библиотека не может удовлетворить всем требованиям специфических разработок. В докладе рассматривается методика моделирования p-i-n-диодов в системе автоматического проектирования (САПР), позволяющая наиболее приближенно к реальным значениям, учитывать электромагнитные характеристики проектируемых устройств.

При моделировании p-i-n-диодов важнейшим параметром модели становится наиболее точная передача электрических характеристик, влияющих на электромагнитное поле. Электромагнитное моделирование в программном продукте HFSS не предполагает изменение состояний внутренних объектов структуры, поэтому важно определить статические состояния элементов схемы, работающей в динамическом режиме, p-i-n-диоды – одни из таких элементов.

По теории полупроводниковой электроники известно, что p-i-n-диод имеет слабо легированную кремниевую (беспримесную) область собственной проводимости, расположенную между высоко легированными областями p и n-типа. В случае необходимости сопротивление p-i-n-диода может регулироваться в широких пределах при помощи тока или напряжения. Поскольку граничная частота p-i-n-диодов не превышает 100 МГц, то на более высоких частотах у этих диодов проявляются свойства линейного сопротивления [1]. Так как сопротивление зависит от величины постоянной составляющей тока, то данный тип диода может использоваться в качестве ВЧ ключа, а также в качестве настраиваемого аттенюатора. Характерной особенностью этого диода является то, что его ёмкость, а следовательно, и сопротивление на высоких частотах, сильно меняется при изменении полярности приложенного напряжения. Из этого следует, что p-i-n-диод следует рассматривать, как динамическую модель. Динамические характеристики модели, в упомянутой выше среде проектирования, можно получить, имея статические отсчеты. Комбинируя и анализируя статические состояния, появляется представление о характере характеристик во временной области.

Для построения статической модели p-i-n-диодов необходимо располагать их следующими характеристиками: сопротивление в открытом состоянии (R_0) и ёмкость в закрытом состоянии (C_0). Этот необходимый базис может быть дополнен значением индуктивности выводов элемента (L_0). Эквивалентная схема закрытого и открытого диода представлена на рис. 1.

В открытом состоянии, когда ток течет в прямом направлении, диод представляет из себя малое активное сопротивление и индуктивность соединительных выводов, соединенные последовательно. В закрытом состоянии, когда протекает обратный ток, диод можно представить в виде параллельно соединенных большого сопротивления и емкости, зависящей от геометрических размеров, а также индуктивности выводов.

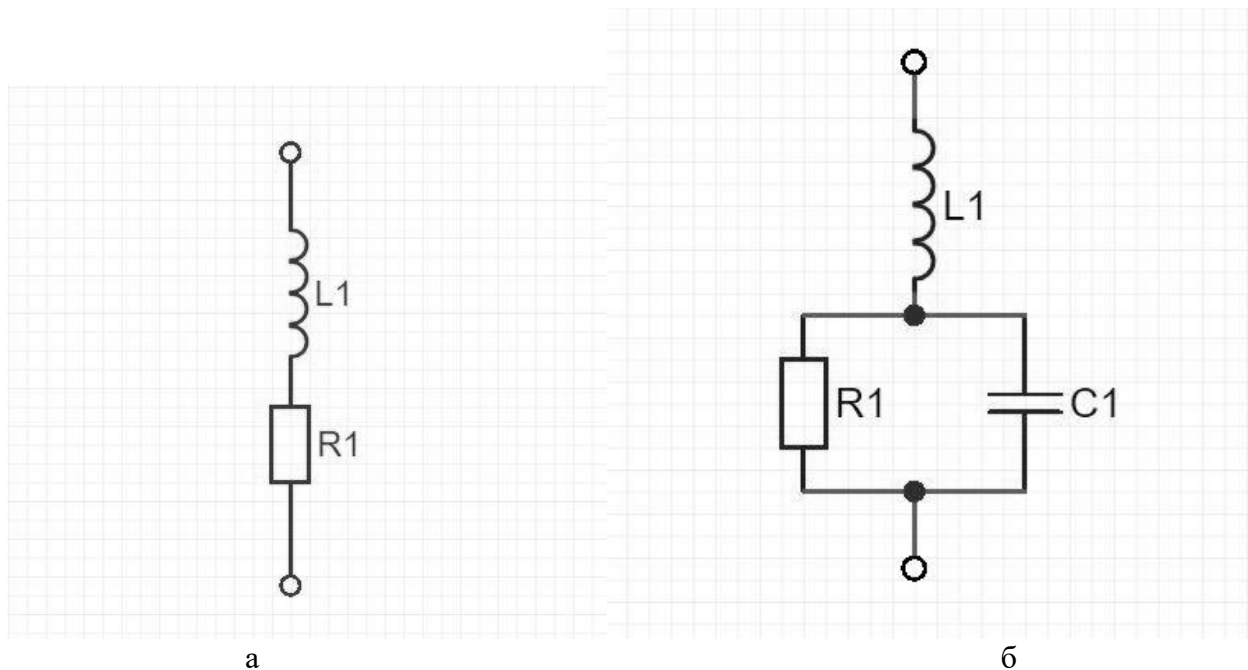


Рисунок 1 – Эквивалентные схемы p-i-n-диодов: а – открытого, б – закрытого

Для расчета использовалась модель с двумя p-i-n-диодами, расположенными последовательно и четырьмя p-i-n-диодами, закрытыми, расположенными параллельно. Данная схема позволяет рассмотреть влияние активного сопротивления на затухание высокочастотного сигнала, а также взаимное влияние на изолированные закрытыми p-i-n-диодами каналы.

Моделирование производилось согласно эквивалентной схеме, с использованием физических размеров p-i-n-диодов. На примере p-i-n-диодов высокой мощности МА4Р506-31 [2] была сконструирована модель, соответствующая параметрам диода, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры моделируемого диода

Наименование	МА4Р506-131
Максимальное обратное напряжение	500 V
C_0	0,7 pF
R_0	0,3 ohm
Длина	0,686 мм
Ширина	0,686 мм
Высота	0,305 мм
Диаметр анода	0,4 мм

Особое внимание уделено форме контактной площадки элемента – при моделировании полноценной высокочастотной структуры важно симитировать паразитную емкость и индуктивность, вносимую контактами соединения и пайки. При моделировании, форма p-i-n-диода составлена из двух частей, одна из которых выполняет роль индуктивности выводов, а вторая – малое сопротивление для открытого и малую ёмкость с большим сопротивлением для закрытого.

На рис. 2 показана упрощенная модель в программном продукте HFSS, линия связи и порты согласованы, волновое сопротивление – 50 Ом. Рис. 3 показывает структуру модели p-i-n-диода.

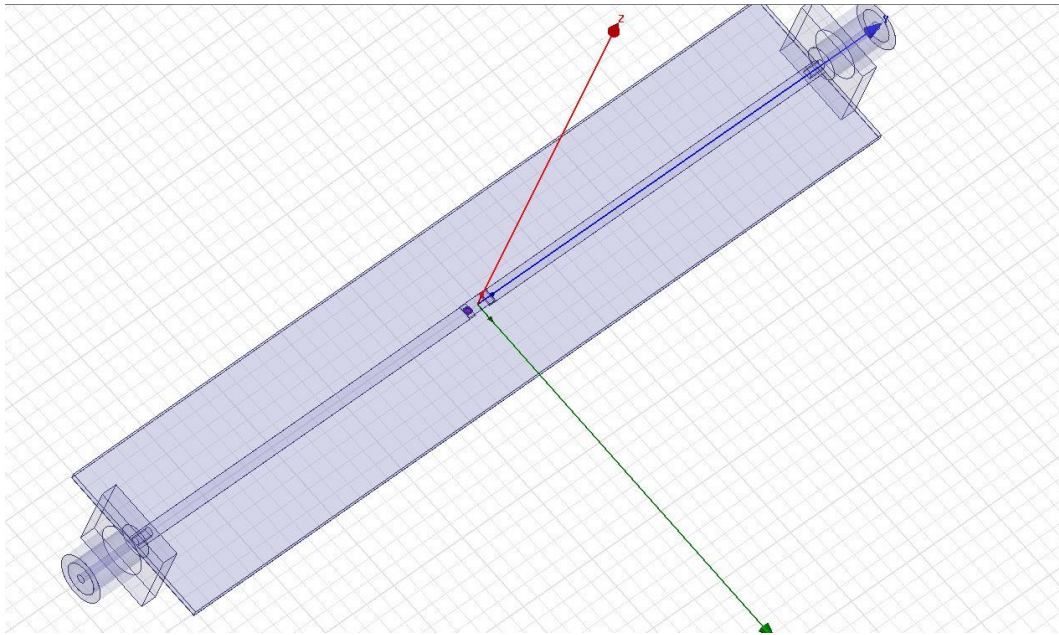


Рисунок 2 – Модель полосковой линии связи с *p-i-n*-диодом

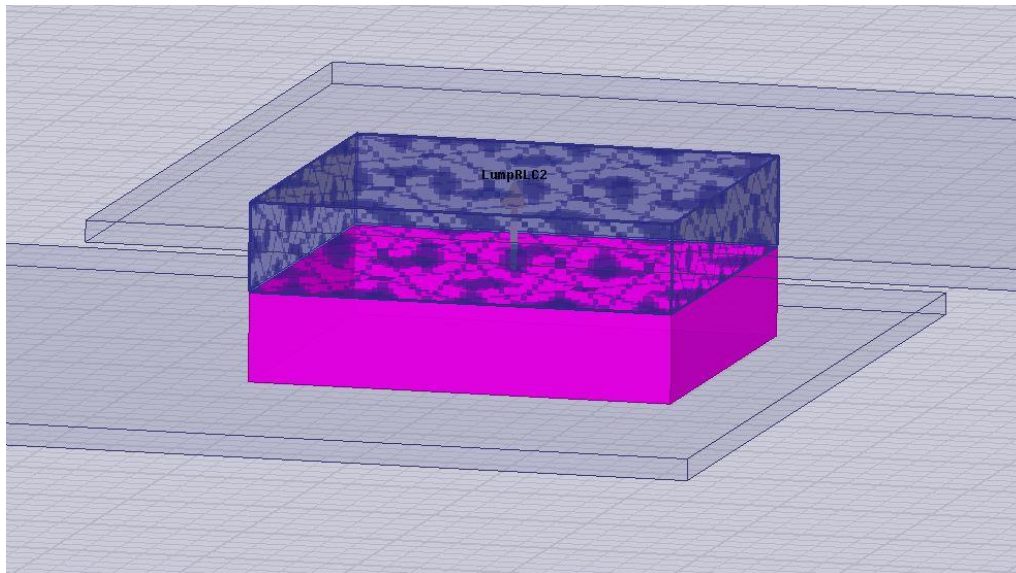


Рисунок 3 – Структура *p-i-n*-диода

Результаты моделирования, в сравнении с заявленными характеристиками *p-i-n*-диода приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты моделирования

Частота , ГГц	Заявленное затухание <i>p-i-n</i> -диода , дБ	Смоделированное затухание, дБ	Значение реального затухания, дБ
0,5	<0,3	0,27	0,25
1,0	<0,4	0,29	0,26
1,5	<0,5	0,31	0,40
2,0	<0,5	0,35	0,40
2,5	<0,7	0,40	0,40
3,0	<0,8	0,60	0,55
3,5	<0,9	0,65	0,60

Для получения реальной характеристики р-і-п-диода была разработана печатная плата, повторяющая характеристики модели. Печатная плата изготовлена из углеводородной керамики фирмы Roger (RO4002), ширина дорожек соответствует волновому сопротивлению 50 Ом, использовались коаксиальные разъемы типа SMA. Измерения проводились на частотном анализаторе SNA-12. Фото реальной модели стенда анализа представлено на рис. 4, результаты измерений показаны на рис. 5.

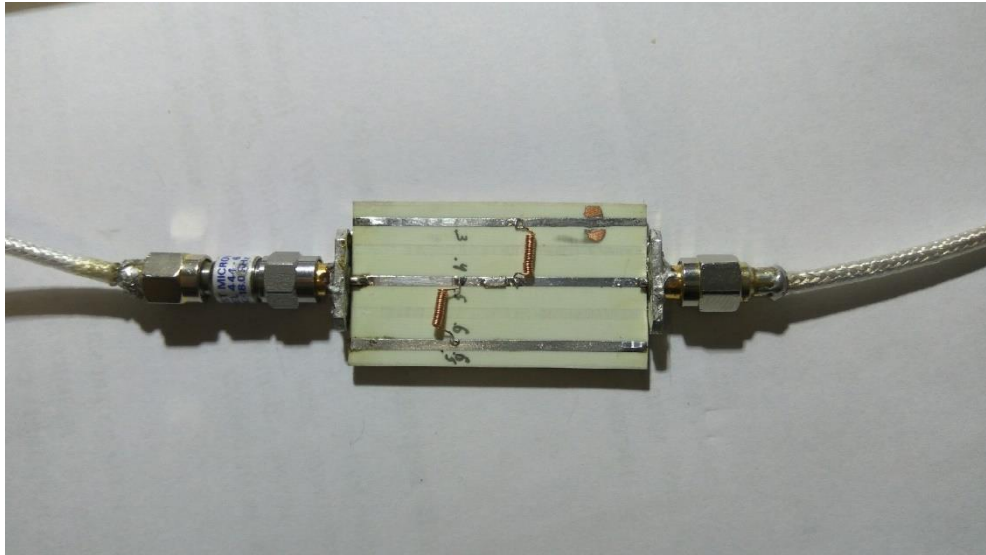


Рисунок 4 – Реальная модель стенда

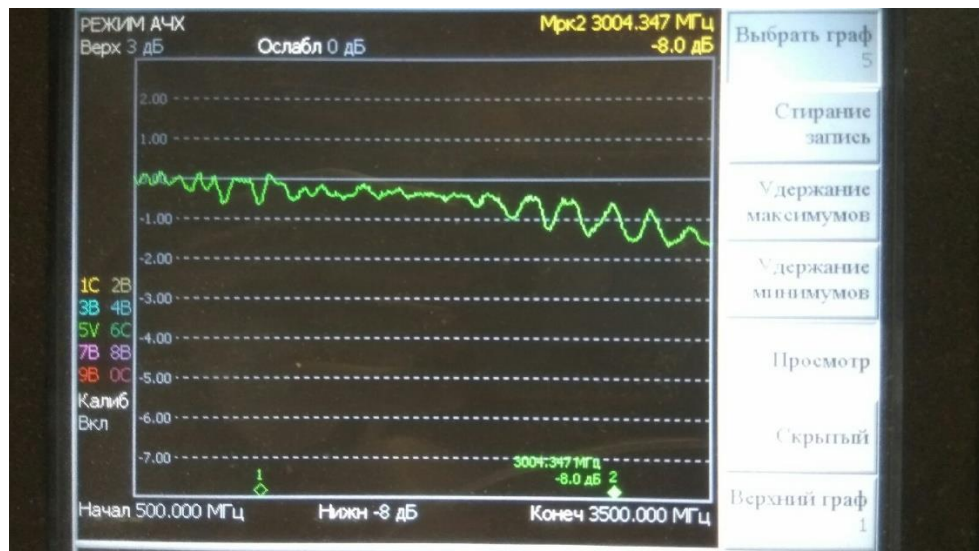


Рисунок 5 – Амплитудно-частотная характеристика реальной модели

Таким образом, САПР HFSS позволяет проанализировать виртуальную модель с большой точностью приближения характеристик к реальной модели. Это способствует, как повышению квалификации инженеров, без расходов на реальное производство, так и обучению молодых специалистов и студентов.

Перечень ссылок

1. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие / В. А. Гуртов. – ПетрГУ. – Петрозаводск, 2004. – 312 с.
2. MACOM Technology Solutions Inc. 2018. Silicon PIN Chips Rev.V23 URL: https://ru.mouser.com/datasheet/2/249/Silicon_PIN_Chips-838076.pdf

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ПАНЕЛИ ИЗ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА И СТЕКЛОВАТЫ

Штурлак А.В., магистрант

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Одним из способов скрытия речевой информации в выделенном помещении является комбинированное использование звукоизоляционных и звукопоглощающих материалов. Так в качестве первого используется звукоизоляционная панель «ЭкоКварц Стандарт», а в роли второго – стекловата [1]. Применение данных материалов обусловлено их многочисленным распространением, дешевой стоимостью и простотой эксплуатации. В итоге получается, своего рода сэндвич-панель, состоящая из двух панелей «ЭкоКварц» с расположенным между ними слоем стекловаты, глубина которого равна 50 мм, так как он считается самой распространённой на сегодняшнем рынке.

Модель получившейся сэндвич-панели реализована в COMSOL Multiphysics и изображена на рисунке 1.

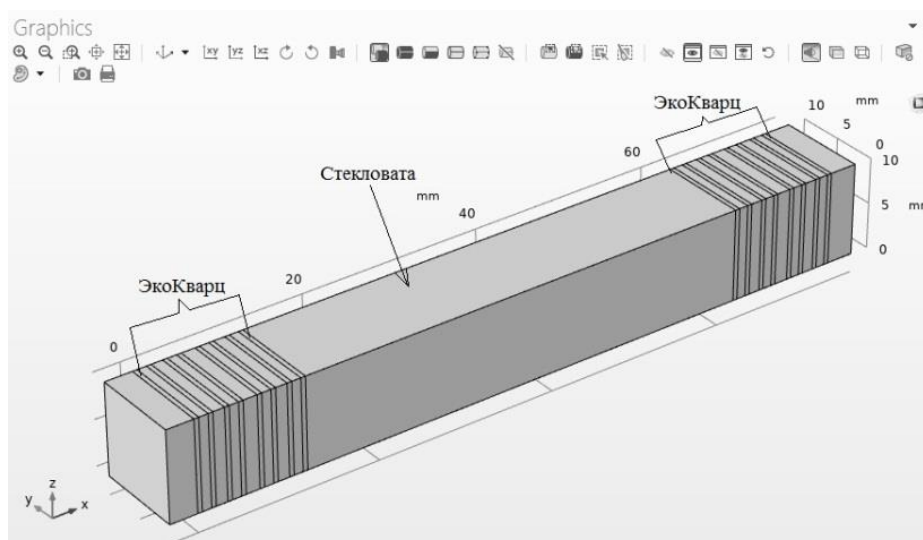


Рисунок 1 – Модель сэндвич-панели

Исходя из рисунка, ослабление речевого сигнала в данной конструкции для частоты 1кГц составляет около 60 дБ. Более точные значения, для основных октавных частот, просчитаны компьютером и сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Ослабления сигнала в основных октавных частотах

Частота, Гц	Уровень входного звукового сигнала, дБ	Уровень выходного звукового сигнала, дБ	Индекс звукоизоляции, дБ
125	96.7	65.6	31.1
250	96.7	54.7	42
500	96.7	45.24	51.46
1000	96.7	34.23	62.47
2000	96.7	28.41	68.29
4000	96.7	-96.6	193.3
8000	96.7	-260.42	357.12

Ослабление сигнала, указанное в таблице 1, происходит при глубине сэндвич-панели 74 мм.

Далее, проводятся изменения глубины слоя стекловаты и с добавлением, в некоторые модели, разной толщины прослойки воздуха, для достижения оптимального сочетания

глубины всей модели и её характеристик. Результаты моделирования и расчётов основных видов этих изменений сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Основные виды моделей и их характеристики

№	Разновидности слоя между плитами «ЭкоКварц»	Ослабления сигнала в основных октавных частотах, дБ						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Слой стекловаты 80 мм	33	43.3	57	68.6	80.6	172.8	326.3
2	Слой стекловаты 70 мм	32.4	42.9	54.7	65.9	77.2	213.7	313.8
3	Слой стекловаты 60 мм	30.8	42.6	52.5	65	74.6	184.3	335.8
4	Слой стекловаты 50 мм	31.1	42	51.46	62.47	68.29	193.3	357.12
5	Слой: стекловаты 50 мм и воздуха 30 мм	32.6	44	57.3	71.9	87.9	177.7	332
6	Слой: стекловаты 50 мм и воздуха 20 мм	32.2	43.3	54.8	69.7	84.6	222.2	310.8
7	Слой: стекловаты 50 мм и воздуха 10 мм	31.7	42.7	52.6	66.8	78.5	197	341.2
8	Слой: стекловаты 40 мм и воздуха 30 мм	32.1	43.9	54.7	73.3	84.7	217.6	321.6
9	Слой: стекловаты 40 мм и воздуха 20 мм	31.6	43.2	53.4	70.3	81.1	190.3	330.8
10	Слой: стекловаты 30 мм и воздуха 30 мм	31.6	43.8	55.5	70.5	80.7	185.9	342.1
11	Слой: стекловаты 30 мм, воздуха 30 мм, стекловаты 20 мм	32.6	44.4	54	65	82.9	171.7	333.2
12	Слой: стекловаты 30 мм, воздуха 30 мм, стекловаты 10 мм	32.1	44.3	55.4	70.6	73	214.5	318.1
13	Слой стекловаты 30 мм	29.7	40.5	52.7	54.9	45.1	112.4	390.2
14	Слой: стекловаты 30 мм, воздуха 20 мм, стекловаты 10 мм	31.6	43.5	54.6	68.2	69.7	194.5	324.2
15	Слой: стекловаты 30 мм и воздуха 20 мм	31	42.8	54.3	64.9	74.4	201.2	351.6
16	Слой: стекловаты 30 мм и воздуха 10 мм	30.4	41.9	53.3	58.7	72.3	180.6	378.4
17	Слой: стекловаты 20 мм, воздуха 30 мм, стекловаты 20 мм	32.1	44.4	56.1	60.3	83.8	212.4	317.9
18	Слой: стекловаты 20 мм, воздуха 30 мм, стекловаты 10 мм	31.6	44.1	57.6	61.8	72	190	332.9
19	Слой: стекловаты 20 мм, воздуха 20 мм, стекловаты 20 мм	31.6	43.6	55.2	60	80.6	187.2	330.3
20	Слой: стекловаты 20 мм, воздуха 10 мм, стекловаты 20 мм	31	42.6	53.8	58.3	73.8	198.5	361.3
21	Слой: стекловаты 20 мм и воздуха 10 мм	29.7	40.8	53.5	57.7	52.4	119.4	427.3

Таблица 2 – Продолжение

22	Слой: стекловаты 10 мм, воздуха 30 мм, стекловаты 10 мм	31.1	43.7	58.1	65.8	60,5	197	357.5
23	Слой: стекловаты 10 мм, воздуха 20 мм, стекловаты 30 мм	31.6	43.6	54.6	68.1	69.6	189.1	329.2
24	Слой: стекловаты 10 мм, воздуха 20 мм, стекловаты 10 мм	30.4	42.4	56.2	63.7	62.6	182	361.3
25	Слой: стекловаты 10 мм, воздуха 10 мм, стекловаты 30 мм	31	42.6	53.4	63	66.4	197.2	364.3

Выбор вида применяемой конструкции осуществляется по более значимым частотам: 500 Гц, 1000 Гц и 2000 Гц. Исходя из этого, берётся вариант под номером десять, внутренний слой которого состоит из 30 мм стекловаты и 30 мм воздуха. В общем, данная конструкция, со звукоизолирующими плитами «ЭкоКварц Стандарт», имеет глубину 84 мм, что считается оптимальным вариантом из ранее смоделированных. График ослабления сигнала этой конструкции и таблица входного/выходного уровней звукового давления для среднегеометрических частот октавных полос представлено на рисунке 2.

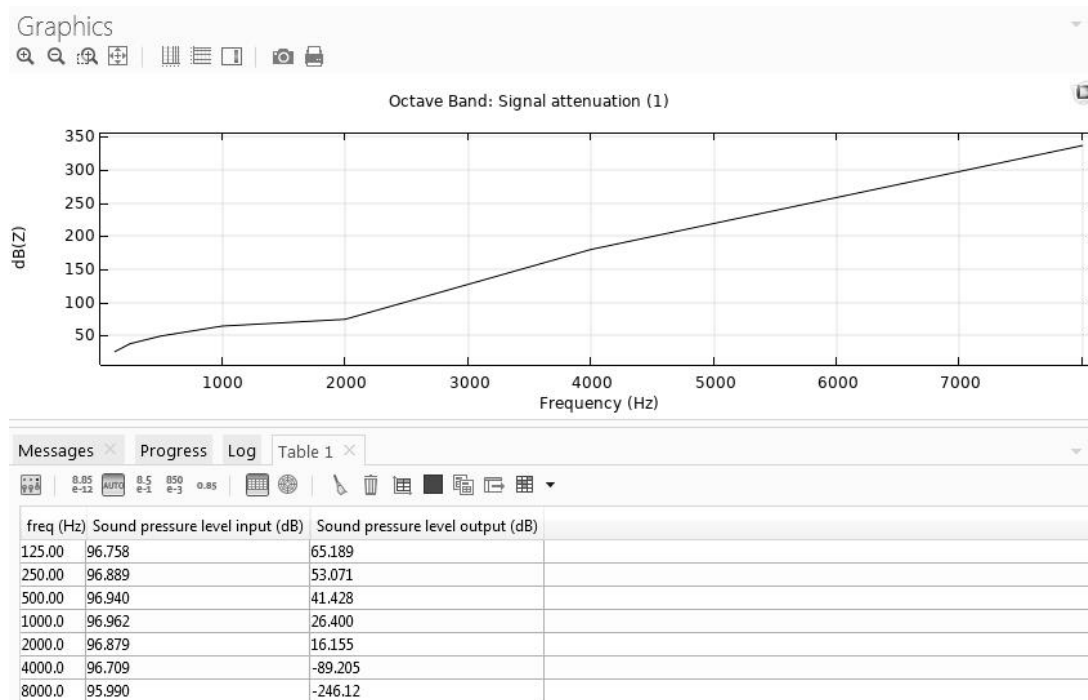


Рисунок 2 – График ослабления сигнала и таблица входных/выходных уровней звукового давления

Рисунок 2 наглядно демонстрирует ослабление сигнала для частот речевого диапазона.

Перечень ссылок

1. Звукоизоляционная панель «ЭкоКварц Стандарт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tuttiho.ru/product/ekokvarts-12/>.
2. Справочник по технической акустике: Пер с нем. / Под ред. М. Хекла и Х. А. Мюллера. – Л.: Судостроение, 1980. – 440 с., ил. 329. – ИСБН.
3. Халяпин Д. Б. Защита информации. Вас подслушивают? Защищайтесь! / Д.Б. Халяпин. – М.: НОУ ШО «Баярд», 2004 – 432 стр.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ЧЕРЕЗ ПЛАЗМУ С РАЗЛИЧНОЙ ЧАСТОТОЙ СТОЛКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Энговатов Д. С., студ.; Паслён В. В., доц., к.т.н., зав. кафедрой РТЗИ
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР)

Исследования в области взаимодействия электромагнитных волн с плазменной средой являются актуальными для сфер радиофизики и электроники. В природе плазмы существует много особенностей [1]. Путем изменения таких параметров как: давление, частота, химический состав газа можно управлять параметрами плазмы. Изменение плотности и проводимости плазмы меняет собственную частоту плазмы. [2].

Частота плазмы зависит от массы ионов и электронов, и от плотности плазмы. Чем выше плотность плазмы, тем выше ее частота. Когда электромагнитная волна падает на объем плазмы, плазма реагирует в соответствии с соотношением частоты волны и частоты плазмы. Если частота электромагнитной волны выше частоты плазмы, волна беспрепятственно проходит через плазму, в ином случае плазма отражает волну как проводящий материал. Компьютерное моделирование исследования распространения радиоволн в плазме при разных частотах и его результаты приведены в [3].

Исследование распространения радиоволн через плазму, проводилось при помощи компьютерного электродинамического моделирования. В программе моделирования CST Studio Suite была смоделирована область плазмы с собственной частотой равной приблизительно 4,467 ГГц. На рис. 1 представлена программная модель плазмы для исследования прохождения радиоволн. Были проведены опыты прохождения радиоволн с частотой ниже, приблизительно равной и выше частоты плазмы. При этом плазма имела разную частоту столкновения электронов в своем объеме равную $2 \cdot 10^5$ столкновений в секунду, $2 \cdot 10^{10}$ столкновений в секунду и $2 \cdot 10^{20}$ столкновений в секунду.

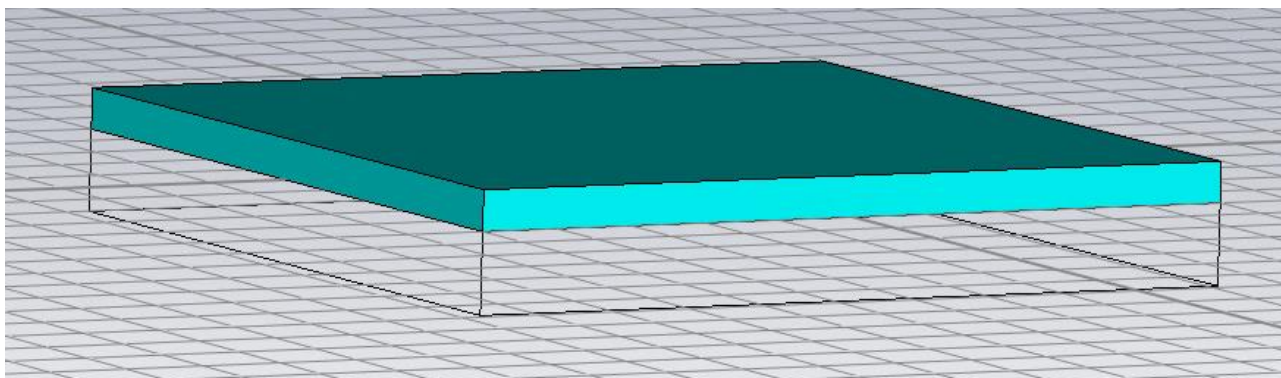
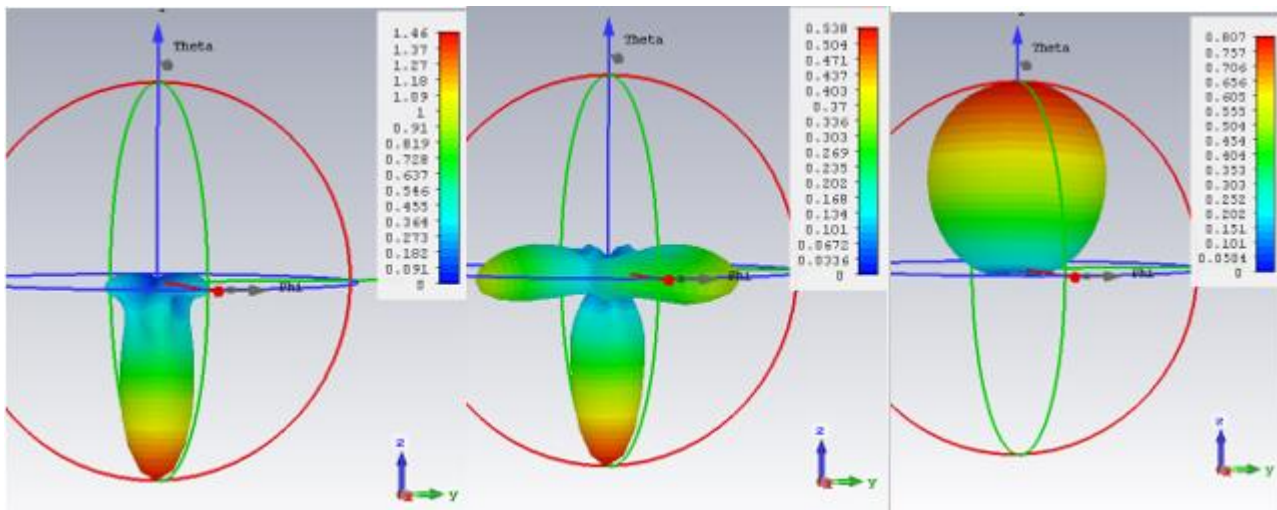


Рисунок 1 – Модель области плазмы в программе

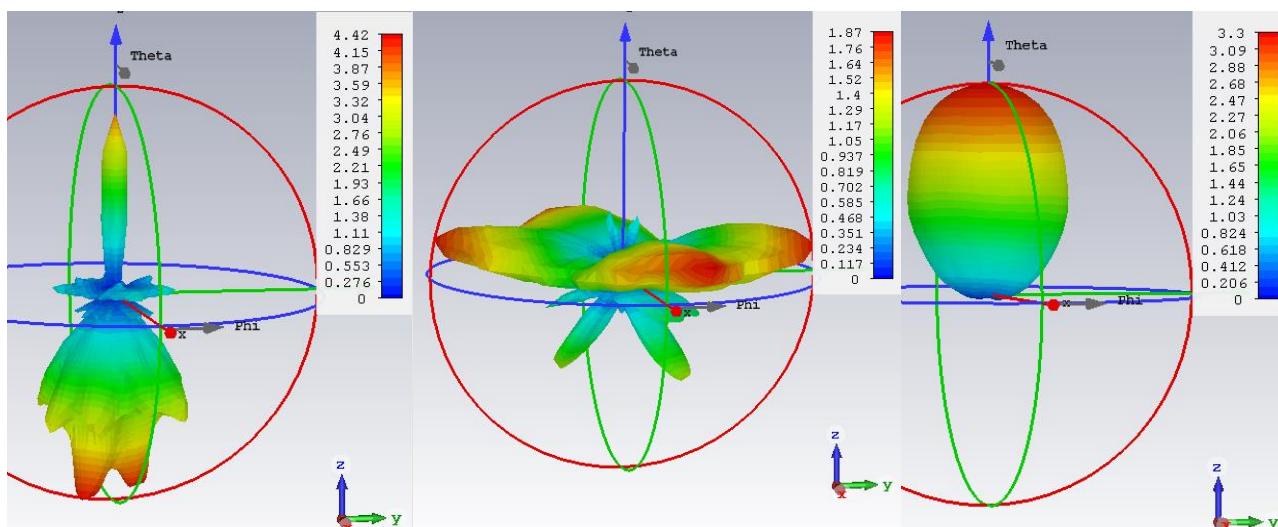
Первый опыт исследования проводился при собственной частоте плазмы выше частоты радиоволны, проходящей через нее. Частота сигнала равна 2 ГГц. На рис. 2 представлены диаграммы направленности, сформированные в результате расчета программой прохождения радиоволны через плазму.

Из рис. 2 видно, что при частоте падающей волны меньшей собственной частоты плазмы энергия сигнала испытывает отражение, значительное поглощение энергии и рассеивание в плазме. При меньшей частоте столкновений электронов энергия волны в значительной степени поглощается и частично отражается от слоя плазмы. При увеличении наблюдается увеличение степени поглощения энергии и рассеивания ее в плазме. При наибольшей частоте столкновений электронов волна даже частично проходит через объем плазмы.



а б в
 Рисунок 2 – Диаграмма направленности для радиоволны частотой 2 ГГц при частоте столкновений электронов: а) $2 \cdot 10^5$ столк./с; б) $2 \cdot 10^{10}$ столк/с; в) $2 \cdot 10^{20}$ столк/с.

На следующем этапе исследований частота радиосигнала была повышена до 4, 5 ГГц приблизительно совпадающей с частотой плазмы. На рис. 3 представлены диаграммы направленности для данного случая.



а б в
 Рисунок 3 – Диаграмма направленности для радиоволны частотой 4,5 ГГц при частоте столкновений электронов: а) $2 \cdot 10^5$ столк./с; б) $2 \cdot 10^{10}$ столк/с; в) $2 \cdot 10^{20}$ столк/с.

Судя по диаграммам на рис. 3 в случае, когда частота падающей радиоволны совпадает с частотой плазмы, сигнал испытывает меньшие затухания чем когда частота волны меньше частоты плазмы. При этом, при меньшей частоте столкновений электронов в плазме энергия волны поглощается, частично отражается, и некоторая часть энергии может преодолеть плазменный слой. При увеличении частоты столкновений электронов, волна в значительной мере рассеивается в объеме плазмы. При дальнейшем увеличении частоты столкновения электронов, как и в случае с прохождением волны меньшей частоты, волна проходит через объем плазмы, однако, испытывает в данном случае меньше поглощения и рассеивания.

Последним этапом данного исследования является изучение прохождения волны с частотой большей, чем частота плазмы. На рис. 4 представлены полученные в программном продукте диаграммы направленности, для волны частотой 10 ГГц.

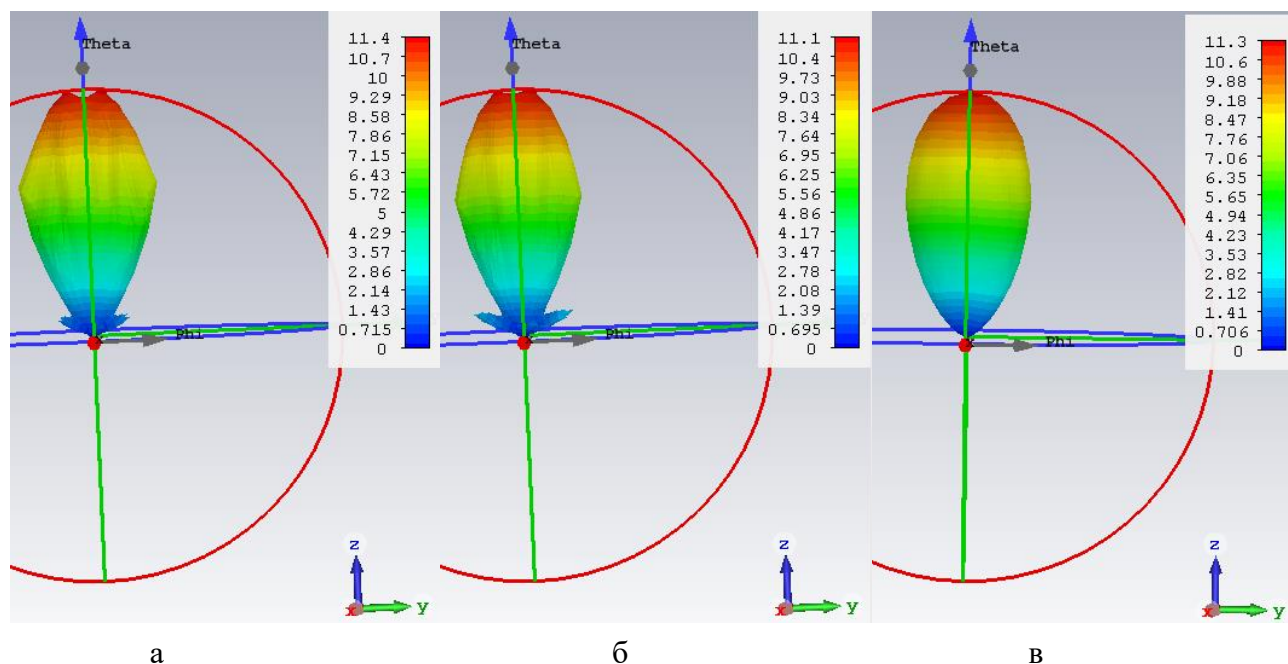


Рисунок 4 – Диаграмма направленности радиоволны частотой 10 ГГц при частоте столкновений электронов: а) $2 \cdot 10^5$ столк./с; б) $2 \cdot 10^{10}$ столк./с; в) $2 \cdot 10^{20}$ столк./с.

Судя по рис.4 при частоте волны превышающей частоту плазмы, сигнал свободно проходит через плазму практически не испытывая поглощения, но при меньших частотах столкновения электронов в плазменном слое наблюдается незначительное рассеивание энергии волны. То есть плазма в этом случае выступает в качестве диэлектрика, не препятствуя распространению электромагнитных волн.

Исходя из проведенного исследования можно сделать вывод, что повышение частоты столкновений электронов в плазме при одинаковой частоте колебаний зарядов в ней снижает способность плазмы к отражению электромагнитных волн. При этом усиливаются процессы поглощения и рассеивания энергии в пространстве. В случае если частота падающей на слой плазмы волны близка к собственной частоте плазмы, увеличение частоты столкновений электронов приводит к большему рассеиванию и прохождению сигнала через объем плазмы. При этом чем меньше частота волны по сравнению с частотой плазмы тем больше уровень поглощения энергии, а увеличение частоты столкновений электронов приводит к еще большему увеличению поглощения и усиливает рассеивание энергии в плазме. Если же частота сигнала выше частоты плазмы, то изменение параметра частоты столкновения электронов уже не имеет значительного влияния на проходящие через плазму электромагнитные волны.

Перечень ссылок

1. Гинзбург, В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме / В. Л. Гинзбург. – М.: Наука, 1967. – 684 с.
2. Prince Kumar, Rajneesh Kumar, «Simulation of Plasma Antenna Parameters», International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences, Vol. 4, Issue 5, ISSN 2349-4476, May 2016.
3. Энговатов Д. С., Паслён В. В. «Особенности распространения электромагнитных волн в плазме», XXI Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос»: Збірник тез – Дніпро: 2019, ISSN 2221-4550.

АНАЛИЗ И ВЗАИМОСВЯЗЬ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ПЕРЕМЕННЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ БАРАБАННЫХ ПЕЧЕЙ. БАЗОВАЯ СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ

Смоляр М.Н., магистрант; Хорхордин А.В., проф., к.т.н.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Несмотря на то, что барабанные печи оборудованы большим количеством датчиков и сенсоров, лишь некоторые из них используются на протяжении длительного времени. Именно они используются для определения текущих значений параметров системы. Самыми важными из них являются:

- температура зоны обжига;
- температура отходящих газов;
- концентрация кислорода.

В зависимости от конструктивных особенностей, также могут учитываться: температура отходящих газов и концентрация кислорода в зоне предварительного нагрева (при наличии предварительного нагрева), высота подушки при использовании решетчатого охладителя.

Температура зоны обжига определяет насколько хорошо сырьё будет спекаться. Спекание – процесс преобразования пылеобразных или порошкообразных материалов в твёрдые или пористые материалы с изменением свойств и структуры. Несоответствие температуры зоны обжига температуре, заявленной технологическим процессом, приводит к неподходящим физико-химическим свойствам финального продукта. [1]

Основное влияние на температуру зоны обжига оказывают: состав сырья, скорость его подачи и состав топлива, сжигаемого в горелочном устройстве. Также, довольно часто могут возникать кратковременные отклонения температуры от заданного значения, вызванные процессами, проходящими внутри печи. В виду инерционности процесса изменения температуры по всей длине печи, опорные значения температуры снимаются, в среднем, раз в один или два часа.

Текущая температура и/или её изменения измеряются следующими способами:

- Анализ показаний пирометра. Цвет факела позволяет оценить температуру в диапазоне 475-1550°C. Данный диапазон является приблизительным, так как отношение цвета пламени к температуре зависит от состава топлива. Измерение исключительно интенсивности излучения не будет давать достаточной точности измерений, из-за влияния пыли и прочих факторов.
- Анализ химического состава отходящих газов может говорить о температуре в зоне обжига. К примеру, в производстве цемента концентрация оксидов азота прямо пропорциональна температуре в зоне обжига.
- Оценка крутящего момента печи. Чем выше температура внутри печи, тем большее количество сырца переходит в жидкую фазу, что способствует увеличению гранул и, как следствие, изменению угла естественного откоса материала. Чем больше откос, тем больший крутящий момент нужен, чтобы повернуть печь. Данный параметр используется исключительно в краткосрочном анализе.
- Оценка точки перехода сырья (только при сжигании чистого газа). Если позволяет видимость, можно увидеть зоны, где сырьё меняет своё агрегатное состояние (становится жидким или трансформируется в шарики). Смещение этих зон говорит об изменении температуры.

Температура отходящих газов является показателем того, насколько хорошо сырьё подготовлено в момент входа в печь. Величина показателя зависит от типа печи, отношения длины к диаметру и, собственно, от качества подготовки сырья.

До момента спекания, сырец должен пройти стадии сушки, кальцинации и претерпеть некоторые структурные изменения. Чем больше энергии потребляют эти процессы, тем более важным является контроль температуры отходящих газов.

Скорость изменения температуры в ответ на управляющие воздействия тем медленнее, чем длиннее печь и чем больше энергии тратится на промежуточные стадии преобразования и химико-физические реакции. Поэтому, наибольшее влияние на данный параметр оказывают изменения в составе сырья, что позволяет вырабатывать управляющие воздействия заранее, так как изменения температуры отходящих газов прямо пропорциональны изменениям температуры в зоне обжига.

Для поддержания максимально возможной температуры горения топлива требуется некоторое количество избыточного кислорода. Его можно измерить, проведя анализ отходящих газов. В зависимости от типа печи и используемого топлива рекомендуемое содержание кислорода в отходящих газах колеблется в пределах от 0,5% до 4%. Однако, избыточность может быть выше, если в составе газа имеют место щелочи, сера или хлор. Это несколько уменьшает максимальную температуру, но увеличивает срок жизни печи, так как при низкой концентрации кислорода, футеровка может пострадать от вышеупомянутых химически активных веществ. Однако, слишком большое количество избыточного кислорода, помимо снижения температуры факела, приводит к увеличению запылённости.

Если серные и прочие испарения не являются проблемой, то рекомендуется выбирать минимально возможный уровень содержания кислорода в отходящих газах, при котором не образуется угарный газ, то есть его концентрация меньше 0,05% [2].

Ниже рассматриваются возможные управляющие воздействия и их влияние на основные технологические параметры процесса производства шамота в двухбарабанной вращающейся печи. В целях упрощения анализа принимаются следующие допущения: предполагается изменение только одной переменной при постоянстве остальных; управляющее воздействие незначительно отклоняется от требуемого значения.

Итак, основными управляющими воздействиями являются:

- расход топлива;
- скорость подачи сырья;
- тяга в печи;
- скорость вращения печи.

При увеличении расхода топлива, температура в зоне обжига и температура отходящих газов увеличиваются, а концентрация кислорода уменьшается. Логично предположить, что уменьшение расхода топлива даёт обратный эффект.

При подаче большего количества сырья все показатели падают. Температура снижается в зоне подачи, а потом, когда сырьё проходит всю длину печи, и в зоне обжига. Концентрация кислорода уменьшается, так как содержащиеся в сырье вода и углекислый газ уменьшают количество воздуха для горения, при этом, не изменяя количества отходящих газов.

При увеличении тяги температура в зоне обжига снижается, но увеличивается температура отходящих газов, как и концентрация кислорода. При этом, небольшое уменьшение тяги приводит к обратному эффекту. Увеличение температуры отходящих газов достигается за счёт не сгоревшего нагретого воздуха.

При увеличении скорости вращения печи наблюдается временное снижение всех параметров. Это вызвано тем, что увеличение скорости вращения ускоряет прохождение сырья через печь, что имеет последствия, аналогичные увеличению скорости подачи. Тем не менее, со временем заполнение печи снизится и показатели придут в норму.

Важно отметить, что, в подавляющем большинстве случаев постоянство объема заполнения печи является одной из основных целей регулирования, поэтому скорость вращения печи изменяется в зависимости от скорости подачи сырья.

Следовательно, как видно из вышенаписанного, изменение одной переменной вызывает изменение трех других параметров системы. При этом для поддержания одного из

параметров в заданном диапазоне обычно требуется изменение нескольких переменных, что может повлечь увеличение отклонения других параметров. Как следствие, необходимо найти некий компромисс, который позволит минимизировать отклонения параметров от технологических требований.

Степень влияния или весовые коэффициенты каждого конкретного управляющего воздействия зависят от типа вращающейся печи. К примеру, в печи предварительного обжига температура отходящих газов не так критична, как в печи с подачей влажного сырья, следовательно, весовой коэффициент в этом случае будет меньше.

Также, в случае двухбарабанных печей, скорость вращения может иметь разные значения для каждого барабана (в основном, из-за разного диаметра барабанов и особенностей реализации нагрева, с помощью отходящих газов), что допускает большую гибкость в регулировании, но усложняет разработку и реализацию системы управления.

На рис. 1 представлена обобщённая стратегия управления, содержащая наиболее типичные действия. Данная стратегия применима ко всем типам вращающихся барабанных печей, но требует доработки применительно к конкретным объектам (к примеру, возможность независимого управления каждым барабаном двухбарабанной печи), в силу уже упомянутых причин и возможного наличия «узких мест», накладывающих ограничения на управляющие воздействия.

Допустим, что каждый технологический параметр может принимать три значения: «низкое» (Низ), «достаточное» (ОК), «высокое» (Выс). Количество возможных комбинаций состояний равняется 27. Эти состояния обозначены числами от 1 до 27 в нижнем ряду рис.1, где ТЗО – температура зоны обжига, ТОГ – температура отходящих газов, КК – концентрация кислорода.

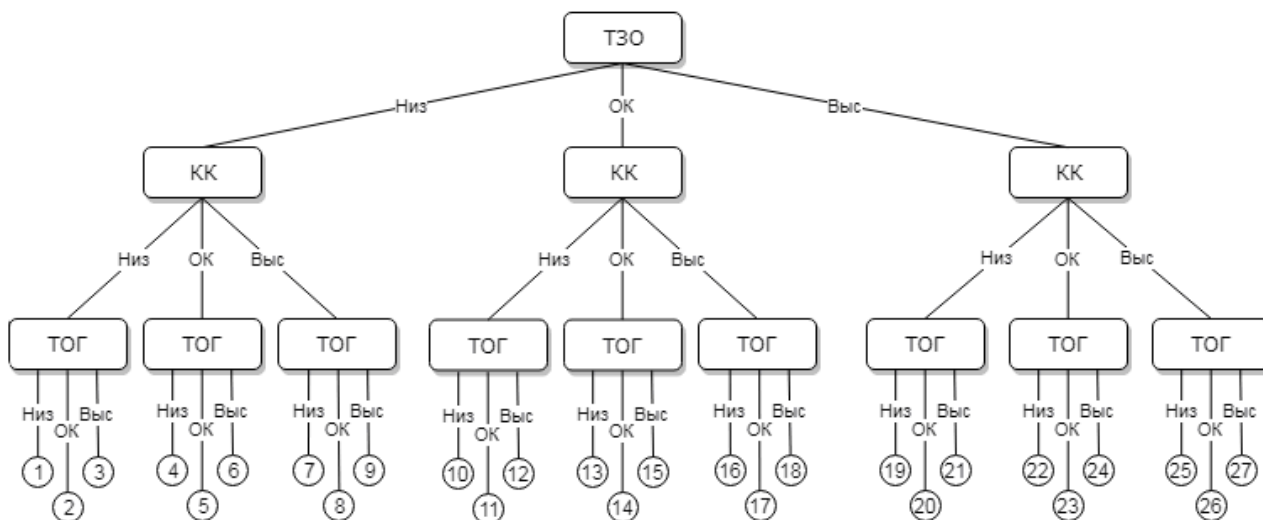


Рисунок 1 - Обобщенная стратегия управления

Для каждого из 27 состояний, отображенных на схеме, существует группа конкретных действий, позволяющих вернуть печь в состояние 14, которое является желаемым. Также стоит упомянуть, что в данном случае предполагается отсутствие ограничений управляющего воздействия и равнозначность весовых коэффициентов для каждого фактора влияния. В качестве примечания отметим, что в печах, в которых температура отходящих газов является второстепенной, допускается отклонение данного параметра, если это позволяет увеличить производительность, однако злоупотребление этим способствует повышению засоренности печи и увеличивает возможность аварийной остановки агрегата. По этой причине, приоритетом данной стратегии является стабильность работы печи, пусть и в ущерб производительности [3].

В виду ограничения, наложенного на размер статьи, привести полную таблицу действий не представляется возможным, потому ниже будет приведена сокращённая таблица, позволяющая понять принцип работы системы и содержащая крайние возможные

состояния. Условные обозначения, используемые для описания, аналогичны обозначениям для рисунка 1.

Таблица 1 – Крайние возможные состояния системы

Состояние	Параметр	Значение	Действие
1	ТЗО КК ТОГ	низкая низкая низкая	Если ТЗО чуть ниже нормы: 1) увеличить подачу кислорода 2) увеличить подачу топлива
			Если ТЗО очень низкая: 1) увеличить подачу кислорода 2) увеличить подачу топлива 3) уменьшить скорость вращения 4) уменьшить скорость подачи
14	ТЗО КК ТОГ	ОК ОК ОК	Если состояние стабильно: 1) увеличить подачу кислорода 2) увеличить подачу топлива 3) увеличить подачу сырья 4) увеличить скорость вращения
			Если состояние временно: 1) нет действий
27	ТЗО КК ТОГ	высокая высокая высокая	Если ТЗО чуть выше нормы: 1) уменьшить подачу топлива 2) уменьшить подачу кислорода
			Если ТЗО высокая: 1) уменьшить подачу топлива 2) уменьшить подачу кислорода 3) увеличить скорость вращения 4) увеличить подачу сырья

В данной статье были рассмотрены основные управляющие воздействия и их взаимосвязь с основными параметрами вращающихся печей, а также предложена базовая логика принятия решений, которая может быть использована для создания системы автоматического управления такой печью. Также указаны ограничения данной логики, накладываемые на процесс, и обозначены направления, в которых данный принцип управления можно развивать.

Перечень ссылок

1. Онацкий С.П. Производство керамзита. 2-е дополненное издание. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 312 с.
2. Kurt E. Peray. The Rotary Cement Kiln. Second Edition. / Kurt E. Peray. New York: Chemical Publishing Co., Inc. 1986. – 389 pages. ISBN: 071313609X.
3. Kurt E. Peray. Cement Manufacturer's Handbook / Kurt E. Peray. California: California Historical Society, 1979. – 408 pages. ISBN: 0820603686.

СОДЕРЖАНИЕ

	с.
СЕКЦИЯ 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	4
1. Герасимов В.И., Лозинская В.Н. Методика понижения стоимости кабельной продукции оптической сети за счет оптимизации количества оборудования для различных схем построения оптического дерева.....	4
2. Багнюк А.В., Червинский В.В. Инфокоммуникационная корпоративная сеть ООО «Метстройобеспечение» г. Донецк.....	9
3. Брехов Д.И., Молоковский И.А. Исследование изменений показателей QoS в беспроводных инфокоммуникационных сетях.....	14
4. Данилюк И.П. Повышение надежности инфокоммуникационных сетей.....	19
5. Глазунова Д.Д., Дзюба А.В. Модернизация мультисервисной сети провайдера для пгт Кутейниково.....	24
6. Кучеренко Б.А., Дзюба А.В. Проектирование мультисервисной сети района трубная сторона г.Харцызска на базе технологии GPON.....	27
7. Дубовая О.А. Исследование условий повышения эффективности доступа к internet на примере населенного пункта с.Макеевка.....	29
8. Заваленкова Е.О. Исследование методов управления IPTV-трафиком в сетях ISP.....	31
9. Ищенко Н.С., Долгих И.П. Разработка инфокоммуникационной оптоволоконной сети для микрорайона «50 лет победы» города Дебальцево.....	34
10. Колосков В.В., Дзюба А.В. Разработка проекта сети провайдера для условий с. Григоровка.....	39
11. Косенко А.П., Молоковский И.А. Исследование методов определения структурной надежности телекоммуникационных сетей.....	42
12. Максимов М.А. Методы анализа улучшения помехоустойчивости систем радиосвязи, использующих технологию MIMO.....	47
13. Метейко В.А., Червинский В.В., Лозинская В.Н. Алгоритм маршрутизации, учитывающий основные критерии эффективности работы сенсорной сети.....	51
14. Мужецкий Д.Е. Исследование условий доступа к глобальным сетям для комплекса малоэтажной застройки.....	55
15. Остапенко М.А., Червинский В.В. Исследование перспективной гетерогенной сети LTE для условий центральной части г. Донецка.....	58
16. Санжиев И.С. Разработка алгоритма управления ресурсами беспроводной сети в условиях высокой концентрации абонентов.....	63
СЕКЦИЯ 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ	66
1. Крыгин Д.А., Лаппо П.В., Ткаченко А.Е. Увеличение искробезопасной мощности цепей переменного тока путем повышения чувствительности устройств искрозащиты.....	66
2. Беззуб В.Г., Несвитайло В.М., Лавшенок А.В. Проблемы сопряжения систем управления приводом подачи угледобывающих комбайнов с преобразователями частоты.....	69
3. Бозоев С.В., Ткаченко А.Е. Особенности синтеза системы автоматического управления работой очистного забоя.....	72
4. Варданян Т.Б., Оголобченко А.С., Овсянников В.П. Методика расчета уставки в системе автоматического регулирования для обеспечения устойчивости рабочего режима центробежного нагнетателя на трубопроводную сеть.....	76

5.	Василенко Д.К., Лаппо П.В., Ткаченко А.Е. Разработка системы автоматического управления рациональной работой промышленной котельной с топками НТКС.....	79
6.	Горячев Н.В., Ткаченко А.Е. Разработка системы диагностики и управления ленточной конвейерной линией.....	85
7.	Давиденко К.В., Бутенко В.И. Адаптивное устройство для индукционного нагрева восстанавливаемых деталей горнодобывающего оборудования.....	89
8.	Двойнишникова Е.А., Гавриленко Б.В. Устройство защиты и стабилизации кавитационного запаса насосного агрегата шахтного водоотлива.....	92
9.	Дубинка Е.С., Маренич К.Н. Автоматическое подавление обратного энергетического потока асинхронного двигателя – комплексное решение задачи защитного обесточивания электросети участка шахты.....	95
10.	Карпов В.С., Полтавец В.В. Коллаборативные роботы как новый элемент современной производственной среды.....	99
11.	Кобзев В.В., Неежмаков С.В. Автоматизация установки сушки сталь-ковшей..	103
12.	Пазуха А.В., Ткаченко А.Е., Лаппо П.В. Разработка системы автоматического температурного контроля ленточной конвейерной установки..	108
13.	Парсентьев О.С., Швец С.Н., Яковенко В.В. Повышение эффективности системы обнаружения и извлечения ферромагнитных тел из потока немагнитного вещества.....	112
14.	Пугач Н.А., Неежмаков С.В., Дубинин С.В. Моделирование работы погрузочного комплекса поверхности шахты.....	117
15.	Синюкова Т.Б., Нестеренко А.С. Анализ систем автоматического управления проветриванием и перспективы их развития.....	122
16.	Скаморин М.А., Вольников М.И. Внедрение автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии в загородный поселок.....	126
17.	Соленый С.В., Квас Е.С., Рысин А.В. Автоматический ввод резерва с контролем состояния перегруженности линии и автоматическое отключение не приоритетных линий питания с применением удаленной диспетчеризации состояния линий питания.....	130
18.	Соленый С.В., Попков Д.Е., Городецкая А.В. Определение напряжений в узлах поворотного мотор-колеса при различных значениях нагрузки.....	134
19.	Сорокин А.И., Троян В.В., Лавшонок Е.Ю. Микропроцессорная система управления проходческим комбайном избирательного действия.....	137
20.	Степаненко П.Д., Никулин И.О., Лавшонок А.В. Исследование процесса плавного пуска двухдвигательного ленточного конвейера.....	141
21.	Стрюк Г.А., Цыганков М.Г., Неежмаков С.В. Блок автоматического управления тепловой производительностью калориферной установки в системе теплоснабжения шахты.....	145
22.	Христенко С.В., Неежмаков С.В. Система автоматизации управления процессом распределения воздуха в капитальных выработках шахты.....	150
23.	Маренич О.К., Ковалёва И.В. Автоматическое токоограничение процесса отключения цепи короткого замыкания – инновационное решение в области эксплуатации электротехнических комплексов.....	152
24.	Фесак А.Д., Неежмаков С.В. Алгоритм автоматической защиты от перегрева подшипников скиповой подъемной установки.....	159
25.	Комаха С.Н., Неежмаков С.В., Ткаченко А.Е. Система автоматизации управления температурным режимом методической нагревательной печи.....	166
26.	Рак А.Н., Саулин В.К., Мирошниченко Н.Н. Анализ эффективности передачи тепловой и электрической энергии потребителям при модернизации когенерационных установок.....	171

СЕКЦИЯ 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ	175
1. Карлов В.А., Быкова А.М. Система автоматического управления конвейерной ленты с накопителями.....	175
2. Степанин А.А., Хорхордин А.В. Разработка системы автоматического управления магистральным конвейерным транспортом на шахте «Щегловская-глубокая»	179
3. Белов Я.А., Чернышев Н.Н. Разработка системы биометрической идентификации человека по лицу на основе нейронной сети.....	183
4. Бондарь Е.С., Чернышев Н.Н. Исследование системы автоматического регулирования соотношения топливо-воздух методической печи прокатного стана.....	187
5. Мерзликин Д.А., Волуева О.С. Система автоматического регулирования объема вещества в купажном баке.....	190
6. Цуканов В.В., Волуева О.С. Особенности процесса пастеризации пива как объекта автоматизации.....	193
7. Горбунов Р.И., Чернышев Н.Н. Современные решения по управлению скоростью вращения асинхронного двигателя нагнетающего насоса на водопроводном узле.....	198
8. Коломоец Э.А., Хорхордин А.В. Разработка нечеткого регулятора для управления микроклиматом тропической оранжереи.....	203
9. Кравченко В.С., Чернышев Н.Н. Система автоматического управления макетом «Умный дом»	207
10. Курицин А.И., Симаков И.В., Прошкин В.Н. Магнитострикционная система для предотвращения образования накипи в теплообменной аппаратуре.....	211
11. Куропятник И.В., Павловская К.А. Паровой угольный котел как объект автоматического управления.....	214
12. Лапушанский Е.В., Червинский В.В. Исследование системы управления газопоршневой установкой с синхронным генератором.....	218
13. Мавродий С.Д., Жукова Н.В. Модернизация системы автоматического управления режимом нагрева насадки в доменном воздухонагревателе.....	222
14. Маричев Д.В., Найденова Т.В. Система автоматического управления соотношением «газ-воздух» для обжига кирпича в тоннельной печи.....	226
15. Милютин А.В., Суков С.Ф. Математическая модель и теоретический синтез системы автоматического управления подкачивающей насосной станцией.....	230
16. Новиков В.А., Жукова Н.В., Федюн Р.В. Особенности автоматизации процесса торкретирования дуговой сталеплавильной печи.....	235
17. Пасько Е.С., Жукова Н.В. Разработка линейризованной математической модели системы автоматического управления концентрациями выходных продуктов ректификационной колонны.....	240
18. Получистова М.В., Федюн Р.В. Особенности водоотливной установки глубокой ликвидируемой шахты как объекта автоматического управления.....	244
19. Пшибис В.А., Жукова Н.В. Исследование динамики системы нагрева лабораторной муфельной печи с FUZZY-ПИД и ПИД управлением.....	248
20. Росляков М.С., Жукова Н.В. Система автоматического управления технологическим процессом переработки оборотного брака в условия производства бумаги.....	253
21. Свинаков И.С., Кобец Д.В. Усовершенствование SIMC-метода и его применение для настройки регуляторов в режиме реального времени.....	257
22. Скиданов Н.Е., Суков С.Ф. Система технического зрения в пакете прикладных программ MATLAB.....	261
23. Смирнов В.И., Чернышев Н.Н. Разработка системы автоматического	

управления микроклиматом хранения муки на булочно-кондитерском комбинате.....	264
24. Ахметжанов Р.Д., Федюн Р.В. Особенности автоматического управления водогрейным котлом системы централизованного теплоснабжения городского микрорайона.....	268
25. Илюк И.Б., Федюн Р.В. Система автоматического управления подогревателем низкого давления системы регенерации тепловой электростанции.....	272
26. Савчук К.В., Федюн Р.В. Выпарной аппарат с вынесенной греющей камерой как объект автоматизации.....	276
27. Садовниченко И.И., Федюн Р.В. Особенности барабанной сушильной установки комплекса подачи твердого топлива ТЭС как объекта автоматического управления.....	279
28. Скопюк К.В., Попов В.А., Федюн Р.В. Особенности промышленного водогрейного угольного котла как объекта автоматического управления.....	284
29. Филинов Н.Ю., Суков С.Ф. Диагностика аварийных ситуаций в шахте на основе нечеткой логики.....	289
30. Чельтер Л.А., Чернышев Н.Н. Теоретический синтез системы автоматического управления индивидуальным тепловым пунктом.....	294
31. Шевченко Б.В., Суков С.Ф. Идентификация параметров математической модели охладительной установки вентиляторного типа.....	299
32. Шевченко Б.В., Суков С.Ф. Выбор принципа и разработка структуры системы автоматического управления процессами в охладительных установках вентиляторного типа.....	302
33. Шепель В.В., Ткачев Р.Ю. Об одном способе байпасного регулирования температуры перегретого пара в котле-утилизаторе.....	305
СЕКЦИЯ 4. ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА, ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ	309
1 Авраменко В.В., Косарев Н.П. расчет намагничивающего элемента.....	309
2. Анацкий П.Н., Винниченко Н.Г. Обзор существующих средств и методов измерения температуры.....	312
3. Афоница У.В., Хламов М.Г. Разработка математической модели оксиметра...	316
4. Евтушок О.С., Рябошук Н.М., Мурзин Д.Г. Электронный браслет для пожилых людей.....	322
5. Иванчиков В.В., Хламов М.Г. Оценка значимости влияния возмущающих факторов на измерения концентрации нефтепродуктов в сточных водах.....	325
6. Кабанова А.Д., Дунаев М.Ю., Антипин Н.М. Параметры схемы замещения тягового линейного асинхронного двигателя с продольно-поперечным магнитным потоком.....	330
7. Кузнецов Д.Н., Карповский А.С., Прокофьев Д. Разработка однолучевого флуориметра для измерения и анализа флуоресценции хлорофилла в листьях растений.....	333
8. Чертушкин Е.О., Кузнецов Д.Н. Аппроксимация табличной функции преобразования резистивного датчика влажности H25K5.....	337
9. Морозов И.А., Косарев Н.П., Лыков А.Г. Математическая модель определения качества промывочной жидкости в условиях молокозавода.....	340
10. Мажан М.В., Хламов М.Г. Пробоподготовка при измерениях концентрации бензапирена в выбросах автомобильного транспорта.....	344
11. Мазур М.Н., Борисов А.А. Исследование сигнала вибродатчика вентилятора главного проветривания угольной шахты и модели представления акустической информации.....	347
12. Москаленко Д.С. Способ измерения действующего значения напряжения с	

применением микроконтроллера.....	352
13. Пигуз В.Н., Ивашко К.С., Изосимова С.А. Компьютерная безмедикаментозная терапия – информационный процесс состояния человеческого организма.....	355
14. Попов С.В., Лыков А.Г. Обоснование и разработка структурной схемы измерения концентрации оксида углерода в выхлопных газах автомобильного транспорта.....	359
15. Татен П.В., Корнев В.Д. Устройство измерения плотности сахарного сиропа гидростатическим методом с компенсацией постоянного уровня.....	362
16. Ткачев М.Ю. Применение инфракрасной термографии в физическом моделировании оборудования для непрерывной разливки стали.....	365
17. Франчук Д.С. Исследование ультразвукового дальномера HC-SR04 в реальных условиях эксплуатации, определение погрешности измерений.....	370
18. Шульга М.В. Разработка и исследование математической модели потенциометрического датчика уровня кислотности водных растворов.....	374
19. Чёрный В.В., Косарев Н.П. Учет влияния внешних факторов на точность измерительного канала.....	377
СЕКЦИЯ 5. ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ	381
1. Ермаков В.А, Паслен В.В. Уменьшение массогабаритных характеристик зональной антенны Френеля.....	381
2. Онищенко И.Д., Паслен В.В. Исследование положения конусного облучателя на диаграмму направленности зеркальной антенны с помощью программного продукта FEKO.....	386
3. Резникова К.С., Паслен В.В. Исследование системы обеспечения орнитологической безопасности аэропорта.....	387
4. Стальнов Д.С., Паслен В. В. Исследование генератора помех в диапазоне 87.5 – 108 МГц.....	390
5. Волобуев В.С., Шульга О.Н., Романенко В.Г., Паслен В.В. Исследование и проектирование линейных антенных систем дециметрового диапазона с быстросменной ориентацией.....	391
6. Зиновьев Е.И, Паслен В.В. Исследование мультисервисной оптической сети на базе технологии GPON.....	393
7. Колесник А.В, Паслен В.В. Применение систем компьютерного имитационного моделирования в учебном процессе.....	396
8. Павловская А.А., Паслен В.В. Проектирование и расчет волноводно-щелевой антенны в свч диапазоне с помощью программного продукта HFSS.....	399
9. Романенко В.Г., Шульга О.Н., Волобуев В.С., Паслен В.В. Обзор методов и средств подавления радиотехнических средств.....	401
10. Тертышный О.И., Паслен В.В. Проектирование и расчет модели P-I-N-диода в программном продукте HFSS.....	402
11. Штурлак А.В. Моделирование и исследование многослойной панели из кварцевого песка и стекловаты.....	406
12. Энговатов Д.С., Паслен В.В. Исследование зависимости распространения радиоволн через плазму с различной частотой столкновения электронов.....	409
13. Смоляр М.Н., Хорхордин А.В. Анализ и взаимосвязь основных параметров и переменных вращающихся барабанных печей. Базовая стратегия управления...	412