

XI МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

XI Международная научно-практическая конференция

Инновационные перспективы Донбасса

XI Международная научно-практическая конференция
Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса



XVI Международная научно-техническая конференция
Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование



XXV Международная научно-техническая конференция
Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых



II Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов
Металлургия XXI столетия глазами молодых

Том 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДОННТУ)**

СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ДОННТУ

**РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА**

**ФГБОУ ВО «ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

НИЦ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПАРТНЕРСТВА ГОСУДАРСТВА И БИЗНЕСА

ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ДОНБАССА

**Сборник научных трудов 11-й Международной
научно- практической конференции
Том 3. Инновационные технологии
проектирования, изготовления и эксплуатации
промышленных машин и агрегатов.**

**г. Донецк
27-29 мая 2025 года**



Донецк – 2025

Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов

ББК 65.30

УДК 330.341 (477.61/62)

И
66

Инновационные перспективы Донбасса, г. Донецк, 27-29 мая 2025 г. –
Донецк: ДонНТУ, 2025.

Т. 3: 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и
эксплуатации промышленных машин и агрегатов.-2025-101с.

Сборник научных трудов 11-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса», состоявшейся 27-29 мая 2025 г. в Донецке на базе ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет». В сборнике представлены статьи ученых и специалистов по вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения инновационного развития Донбасса и формирования механизмов повышения социально-экономической эффективности развития региона.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Ректор ДонНТУ А.Я. Аноприенко, ректор ДонГТУ Д.А. Вишневский, и.о. ректора РХТУ им.Д.И. Менделеева Румянцев Е.В., директор АНО «НИЦ стратегического партнерства государства и бизнеса» О.Ф. Шахов, проректор ДонНТУ С.В. Борщевский, канд. техн. наук А.Н. Корчевский, канд. техн. наук О.Л. Кизияров, докт. техн. наук Э.Г. Куренный, канд. техн. наук Д.И. Морозов, д-р техн. наук С. П. Еронько, канд.техн.наук А.М. Зинченко, канд. техн. наук С.В. Горбатко, канд. фарм. наук В.С. Федорова, канд. техн. наук А.А. Кравченко, д-р экон. наук Н.В. Гришко, канд. техн. наук И.В. Филатова, канд.техн.наук Д.В. Пронский, канд. техн. наук Р.В. Мальчева, докт. экон. наук Е.Е. Бизянов, председатель Совета молодых ученых ДонНТУ М.П. Руденко.

Под общей редакцией Шамрай Юлии Александровны

Контактный адрес редакции

НИЧ ДонНТУ, ул. Артема, 58, Донецк, 283001

Тел.: +7 (856) 305-35-67. Эл. почта: ipd.donntu@yandex.ru

Интернет: <http://ipd.donntu.ru>

© ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»
Министерство образования и науки ДНР, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

<i>С.В. Куберский, Е.Н. Максаев</i> Технологические и конструктивные решения для повышения выхода годной стали в условиях металлургических микрозаводов	5
<i>Н.С. Кочкаринов</i> Перспективы вибродиагностики теплоэнергетических коммуникаций.....	10
<i>И.В. Садовая, А.В. Кара, Ю.А. Алехов, Ф.Н. Сагдеева, В.Г. Аленин</i> Определение газодинамических характеристик металлокерамических фильтроэлементов, полученных методом свс в поле центробежных сил	13
<i>С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, А.И. Цыхмистро, М.А. Кофанов</i> Моделирование процесса торможения струи металла, подаваемого в промежуточный ковш МНЛЗ	17
<i>Д.А. Власенко</i> К вопросу повышения энергоэффективности дробильно-измельчительного оборудования в агломерационном производстве АМК ООО «ЮГМК».....	22
<i>А. С. Атауллин, А. Ю. Черепашин, Е. А. Буленков</i> Анализ эффективности использования облачных САПР для изготовления изделий угольного машиностроения	28
<i>В.В. Малащенко</i> Влияние структурных дефектов на механические свойства металлов и сплавов при ударных нагрузках	31
<i>А.К. Лямасов, А.В. Волков</i> Влияние смачиваемости функциональных поверхностей центробежных насосов на гидродинамические характеристики	34
<i>С.В. Куберский, Е.Н. Максаев</i> Технологические и конструктивные решения для повышения выхода годной стали в условиях металлургических микрозаводов	39
<i>Р.В. Коршаков, Т.П. Мищенко</i> Организация использования искусственного интеллекта и нейросетей в образовательном процессе изучения транспортных дисциплин.....	44
<i>С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, И.С. Погорелов</i> Методика проведения лабораторного эксперимента по удалению огнеупорного стакана из гнездового блока сталеразливочного ковша	51
<i>Р.С. Мележик, Д.А. Власенко</i> Исследование усовершенствованного привода валковой дробилки ДЧГ 900×700 при многоцикловых нагрузках	56
<i>В.Н. Михайлов</i> Конструкция цифрового копира.....	61
<i>А.Н. Пересадченко, И.Н. Волошанович, Ю.А. Алехов, А.Н. Шавшина, В.В. Афанасьев</i> Зависимость шероховатости образца от времени магнитно-абразивной обработки.....	65

**Инновационные технологии проектирования, изготовления и
эксплуатации промышленных машин и агрегатов**

<i>Ю.В. Пипкин, А.М. Зинченко, С.Ю. Стародубов</i> Автоматизация типовых силовых расчетов станочных приспособлений на базе комплекса SMATH STUDIO	70
<i>А.В. Пичахчи, В.А. Сидоров</i> Последовательность вибрационного диагностирования подшипников комбинированных редукторов прокатных клетей.....	75
<i>А.Н. Рак, В.О. Гутаревич</i> Обоснование параметров валогенераторных систем для морских судов	79
<i>И.В. Садовая, Ю.А. Алехов, Ф.Н. Сагдеева, А.В. Кара</i> Устройство бесконтактного инициирования СВС интерметаллидов высокотемпературным дуговым разрядом ...	82
<i>В.Г. Нечепанев</i> Расчетная схема для моделирования сопротивления перемещению горной массы в шнековом исполнительном органе очистного комбайна	85
<i>В.А. Сидоров, Е.В. Ошовская, Ю.А. Шамрай</i> Оценка рисков эксплуатации механического оборудования на основе данных агрегатного журнала	91
<i>В.Г. Нечепанев</i> Моделирование напряженного состояния горной массы в шнеках очистных комбайнов	97

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА ГОДНОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИКРОЗАВОДОВ

С.В. Куберский¹, Е.Н. Максаев²

¹ФГБОУ ВО «ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Алчевск, ЛНР

²АО «ВЫКСУНСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Показано влияние ковшевого шлака на эффективность процесса получения непрерывнолитых заготовок в условиях микрозаводов. Предложены технологические и конструктивные рекомендации для повышения выхода годного и качества стали за счет управления процессами перелива ее из технологических емкостей.

The influence of bucket slag on the efficiency of the process of obtaining continuously cast blanks in micro-factories is shown. Technological and constructive recommendations are proposed to increase the yield and quality of steel by controlling the processes of its overflow from technological tanks.

Ключевые слова: микрозавод, сталь, выход годного, качество, сталеразливочный ковш, кристаллизатор

Keywords: micro-plant, steel, yield, quality, steel ladle, mold

Эффективность предприятий черной металлургии в значительной степени определяется выходом годной стали и ее качеством. Поэтому повышение этого показателя на этапах выплавки, внепечной обработки и разливки является актуальной научно-технической задачей.

Рассматривая производство в условиях интегрированных предприятий и микрозаводов (МЗ) можно отметить, что для последних характерными особенностями являются небольшие объемы производства, эксплуатация агрегатов и оборудования небольшой единичной емкости, непрерывная разливка стали одиночными плавками или с небольшим количеством плавков в серии. Поэтому одним из путей повышения их конкурентоспособности также может быть использование инновационных решений способствующих снижению удельных потерь стали и улучшению ее качества [1].

Анализ технологической схемы производства стали в условиях МЗ позволил установить, что одной из актуальных проблем, влияющих на выход годного и качество стали являются потери стали с шлакометаллическим остатком (ШМО) в сталеразливочном (СК) и промежуточном ковшах (ПК) [2].

Исследования, проведенные при физическом моделировании в

лабораторных условиях, а также на ряде действующих предприятий, показали, что в конце перелива стали из технологических емкостей при разливке одиночными плавками или последней плавки в серии, имеет место образование вихревой воронки и возможно попадание ковшевого шлака в ПК и шлака ПК в кристаллизатор.

При изучении данного явления было установлено, что более позднему образованию воронки, а, следовательно, и уменьшению ШМО ($h_{шл}$) в технологических емкостях (потерь стали со шлаком ($-m$)) способствуют следующие факторы:

- увеличение времени от окончания продувки аргоном до начала разливки (t_1) и длительности разливки (t_2), а также наличие «мягкой» продувки ($M_{пр}$) при подготовке стали к непрерывной разливке;
- уменьшение массовой скорости ($V_{мас}$) и температуры разливки ($t_{раз}$);
- кратковременное перекрытие металлопроводки при определенном остатке стали в емкости с последующим возобновлением перелива при неполном открытии канала (способствует прекращению процесса воронкообразования и затрудняет условия образования новой воронки при повторном открытии канала).

Анализ параметров внепечной обработки и разливки более 130 плавков низко- и среднеуглеродистых, перитектических низкокремнистых и легированных сталей позволил установить влияние отмеченных выше параметров на потери стали со шлаком (рис.1 и 2).

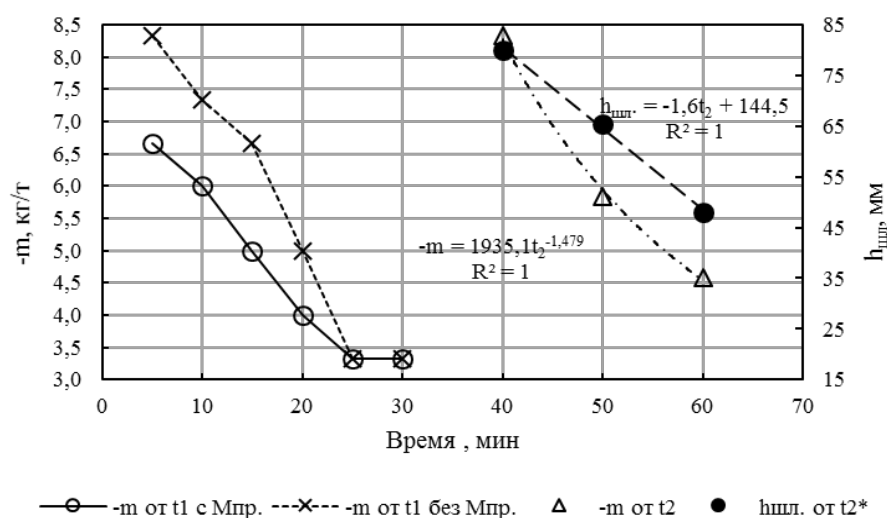
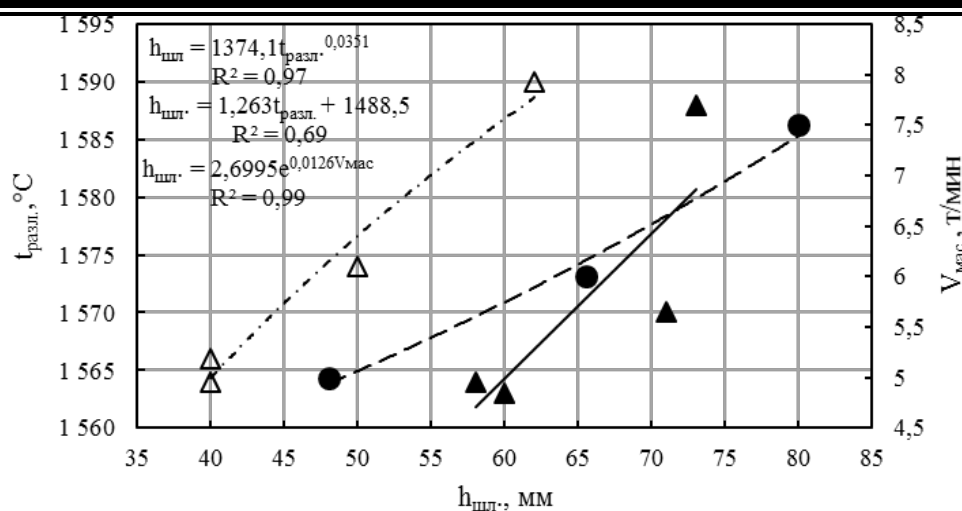


Рисунок 1 – Влияние t_1 , t_2 и вида внепечной обработки на удельные потери стали со шлаком и его остаточный уровень в ПК



△ h_{шпл} от t_{разл.} при V_{мас.}-5 ▲ h_{шпл} от t_{разл.} при V_{мас.}-6 ● h_{шпл} - V_{мас.}*

Рисунок 2 – Связь между остаточным уровнем шлака в ПК, $t_{разл.}$ и $V_{мас}$

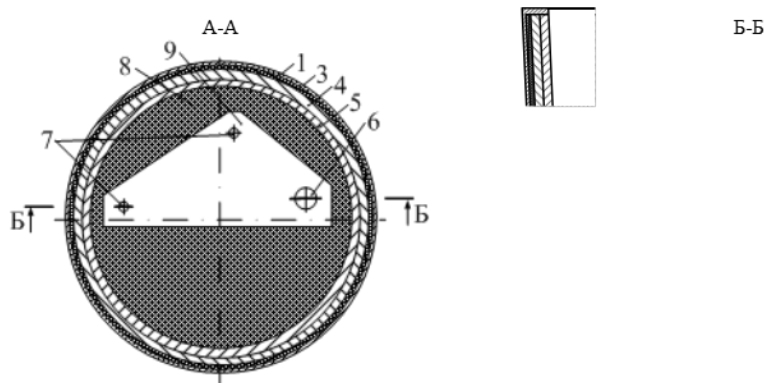
В соответствии с рисунком 1 увеличение t_1 и t_2 способствует снижению интенсивности потоков, образовавшихся при аргонной продувке и их постепенному затуханию. «Мягкая» продувка обеспечивает менее интенсивную гидродинамическую обстановку в СК. Увеличение t_1 от 5 до 20 мин позволяет сократить потери металла со шлаком на 40 % (2,67 %/мин), а применение «мягкой» продувки на 20 %. При величине t_1 более 25 мин интенсивность потоков, образовавшихся в стали, существенно уменьшается и «мягкую» продувку можно исключить из технологии.

При уменьшении $V_{мас}$ и $t_{раз}$ увеличивается время пребывания стали в ковше, что способствует снижению интенсивности образовавшихся циркуляционных потоков, а также жидкотекучести стали и шлака. Такое изменение параметров разливки обеспечивает более позднее образование воронки и затрудняет затягивание в нее шлака.

Попадание ковшевого шлака в ПК и шлака ПК в кристаллизатор приводит не только к снижению выхода годного, но и к увеличению вероятности возникновения аварийных ситуаций и снижению качества стали. Попадая в кристаллизатор этот шлак ухудшает физико-химические свойства шлакообразующей смеси (ШОС) на поверхности стального мениска в кристаллизаторе, что особенно заметно в периоды начала и окончания разливки плавки из сталеразливочного ковша. Поэтому срабатывание системы раннего обнаружения прорывов и снижение удельного расхода ШОС в результате ухудшения ее проникновения в зазор между стенкой кристаллизатора и оболочкой слитка наиболее часто наблюдается именно в эти периоды.

Использование установленных закономерностей в производственных условиях позволило увеличить выход годного в среднем на 1 кг/т.

Кроме технологических рекомендаций, для снижения потерь стали с ШМО были предложены и реализованы изменения в конструкции донной части СК за счет выполнения бетонных выступов высотой 100 мм вокруг сталеразливочного стакана и продувочных узлов (рис. 3).



- 1 – металлический корпус (броня), 2 – цапфы; 3, 4, 5 – изоляционный, арматурный, рабочий слои футеровки; 6 – разливочный стакан с шиберным затвором, 7 – продувочные пробки; 8 – выступ из огнеупорного бетона, 9 – шаблон

Рисунок 3 – Схема СК с изменённой конструкцией донной части
(А-А поперечное и Б-Б продольное сечение)

Такое решение позволило увеличить высоту слоя металла над разливочными стаканами, что обеспечивает образование воронки при значительно меньшем остатке стали в ковше [3]. Увеличение уровня налива при таких изменениях в футеровке днища составляло не более 50 мм, а доля скрапа в ШМО, кантуемом в чаши, уменьшилось на 1,7-3 кг/т.

Выводы.

В результате проведенных исследований было установлено, что для повышения выхода годного и качества стали необходимо:

- по возможности снижать массовую скорость разливки и температуру разливаемой стали, а также увеличивать интервал времени от окончания аргонной продувки до начала разливки и длительность разливки;
- «мягкая» продувка позитивно влияет на рассматриваемые параметры. Однако при большом интервале времени от окончания аргонной продувки до начала разливки «мягкую» продувку можно исключить из технологии;
- при появлении ковшевого шлака в металлопроводе кратковременно прекращать перелив стали из СК в ПК с последующим его возобновлением при не полном открытии канала;
- использовать новую конструкцию футеровки днища СК.

Перечень ссылок

1. Фокин И.В. Структура потерь металла в процессе выплавки нержавеющей стали / И.В. Фокин, Гудим Ю.А. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия» 2013, том 13, № 2. С. 33-37.
2. Куберский С.В. Повышение выхода годной стали при переливе ее из сталеразливочного ковша / С.В. Куберский, М.Ю. Проценко, В.Д. Грязнов, В.В. Семенов // Сборник научных трудов. Вып. 19 (62). Алчевск: ДонГТУ. 2020. С. 45-51.
3. Куберский С.В. Усовершенствование конструкции футеровки днища сталеразливочного ковша для повышения качества и выхода годной непрерывнолитой стали / С.В. Куберский, Е.Н. Максаев, С.В. Семирягин, А.В. Головчанский // Сбор. науч. трудов. Современные огнеупоры и технологии в производстве стали. XIX-й международной научно-технической конференции, «Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях». – Донецк: Ноулидж. 2013. С. 99-104.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЙ

Кочкаринов Н.С.

Казанский государственный энергетический университет, Казань

Аннотация. Теплоэнергетические коммуникации, включая трубопроводы, требуют надежного и эффективного мониторинга технического состояния. Вибродиагностика представляет собой перспективный метод неразрушающего контроля, позволяющий выявлять дефекты и прогнозировать аварии без остановки оборудования.

Ключевые слова: вибродиагностика, тепловые сети, трубопроводы, дефекты, неразрушающий контроль, акустико-резонансный метод.

Abstract. Heat and power engineering communications, including pipelines, require reliable and efficient monitoring of technical condition. Vibrodiagnostics is a promising method of non-destructive testing, which allows to detect defects and predict accidents without stopping the equipment.

Keywords: vibrodiagnostics, heat networks, pipelines, defects, non-destructive testing, acoustic-resonance method.

Теплоэнергетические коммуникации, включая трубопроводы, являются критически важными элементами инфраструктуры, обеспечивающими транспортировку теплоносителей. Их отказы приводят к значительным экономическим потерям, экологическим рискам и угрозам безопасности. Традиционные методы диагностики, такие как визуальный осмотр или ультразвуковой контроль, часто неэффективны для скрытых или труднодоступных участков. В этой связи вибродиагностика выступает перспективным направлением, позволяющим оценивать состояние труб без нарушения их эксплуатации. Исследования в этой области, включая работы ученых Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ), демонстрируют высокий потенциал метода для прогнозирования аварий и повышения надежности систем [1].

Надежность трубопроводов зависит от множества факторов: коррозия, усталостные трещины, механические повреждения и качество монтажа. Деграция материалов под воздействием внешних нагрузок и агрессивных сред снижает их эксплуатационный ресурс. Математическое моделирование, применяемое в исследованиях КГЭУ, позволяет прогнозировать распространение дефектов и оптимизировать сроки технического обслуживания [2]. Например, моделирование волн Лэмба в стальных трубах с защитными покрытиями помогает оценить влияние коррозии на прочностные характеристики [2].

Одной из ключевых задач является мониторинг состояния трубопроводов в режиме реального времени, особенно в условиях скрытой прокладки (например, подземные или заизолированные участки). Виброакустические методы, такие как акустико-резонансный контроль, позволяют обнаруживать скрытые полости и дефекты за счет анализа частотных характеристик сигналов [3]. В работе [4] показано, что виброакустическая диагностика эффективно выявляет утечки и неоднородности даже на ранних стадиях, что критически важно для предотвращения аварий.

Метод вибродиагностики основан на регистрации и анализе колебаний, возникающих в трубопроводах при их эксплуатации. Основные преимущества: Невмешательство в работу системы, высокая чувствительность к локальным дефектам, возможность дистанционного контроля.

В КГЭУ разработаны алгоритмы определения информативных частотных диапазонов для локации скрытых трубопроводов [5]. Например, использование волн Лэмба в сочетании с математическими моделями позволяет точно определять места коррозионного износа и трещин [2]. Кроме того, акустико-резонансные методы успешно применяются для обнаружения полостей под изоляцией, что подтверждается экспериментами [3].

В Казанском государственном энергетическом университете проводятся уникальные исследования в области вибродиагностики. Ученые университета:

1. Разработали математические модели распространения волн в трубах с многослойными покрытиями [2].
2. Определили оптимальные частоты для контроля заглубленных коммуникаций [5].
3. Создали методики обнаружения скрытых полостей с использованием резонансных эффектов [3].

Данные работы легли в основу практических рекомендаций по эксплуатации тепловых сетей и повышению их безопасности.

Вибродиагностика теплоэнергетических коммуникаций — это инновационное направление, способное революционизировать подходы к мониторингу инфраструктуры. Исследования КГЭУ подтверждают, что методы анализа колебаний и акустических сигналов обеспечивают высокую точность оценки состояния трубопроводов, включая скрытые участки. Дальнейшее развитие этой области открывает большие горизонты написания аналитических программ ЭВМ для обработки данных и расширения экспериментальной базы. Это позволит создать системы прогнозного обслуживания, минимизирующие риски аварий и повышающие энергоэффективность теплоэнергетики.

Список использованной литературы

1. Gaponenko, S. O. Improving the efficiency of energy complexes and heat supply systems using mathematical modeling methods at the operational stage / S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, R. Z. Shakurova // E3S Web of Conferences : 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. Vol. 124. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 05029. – DOI 10.1051/e3sconf/201912405029. – EDN WGSUEF.
2. Гапоненко, С. О. Построение математической модели распространения волн Лэмба в стальном трубопроводе с защитным наружным покрытием / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, Г. Р. Мустафина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 3-15. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-3-15. – EDN FGMCOZ.
3. Acoustic-resonance method for control of the location of hidden hollow objects / S. A. Nazarychev, S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, R. Z. Shakurova // Journal of Physics: Conference Series : Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma During the Deposition of Functional Coatings, Kazan, 05–08 ноября 2018 года. Vol. 1328. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012054. – DOI 10.1088/1742-6596/1328/1/012054. – EDN MWGTLL.
4. Гапоненко, С. О. Перспективные методы и методики поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов виброакустическим методом / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2015. – № 2(47). – С. 9-13. – EDN TTVOAL.
5. [Gaponenko S.O.](#), [Nazarychev S.A.](#), [Kondratiev A.E.](#) Determination of informative frequency ranges for buried pipeline location control // [Helix](#). 2018. V. 8(1). P. 2481-2487

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ**

И.В. Садовая, А.В. Кара, Ю.А. Алехов, Ф.Н. Сагдеева, В.Г. Аленин

ФГБНУ «НИИ «Реактивэлектрон»

г. Донецк, ДНР

Аннотация. Проведены исследования по определению газодинамических характеристик металлокерамических фильтроэлементов, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в поле центробежных сил.

Annotation. Research has been conducted to determine the gas-dynamic characteristics of metal-ceramic filter elements obtained by the method of self-propagating high-temperature synthesis in a centrifugal force field.

Ключевые слова: металлокерамические фильтры, газодинамические характеристики, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, пористость.

Keywords: metal ceramic filters, gas-dynamic characteristics, self-propagating high-temperature fusion, porosity.

На сегодняшний день, металлокерамические фильтры находят широкое применение в различных технологических процессах для очистки воздуха и газов от твердых частиц.

Для оценки эффективности и работоспособности, фильтроэлементы подвергают испытаниям на различные показатели, такие как: пористость, механическую прочность при сжатии, щелочестойкость, кислотостойкость, жаростойкость, гидродинамические и газодинамические характеристики.

Для проведения исследований газодинамических характеристик, нами синтезированы высокопористые (пористость 50 – 60 %) образцы цилиндрической формы (высота – 60 мм, диаметр – 53 мм и толщина стенки 4, 8 и 12 мм) химического состава 32 масс.% Al и 68 масс.% Ni методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в поле центробежных сил, вектор которых расположен перпендикулярно направлению движения волнового фронта процесса СВС.

Соппротивление потоку воздуха, проходящего через исследуемый фильтроэлемент, определяли на разработанной нами установке, схема которой представлена на рисунке 1.

Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов

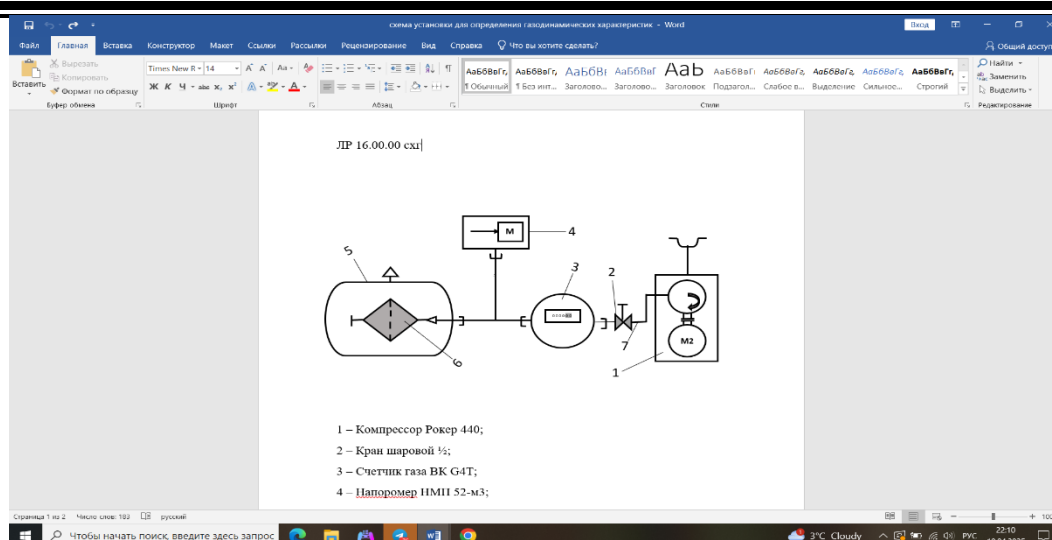


Рисунок 1 – Схема установки по определению газодинамических характеристик металлокерамических фильтроэлементов: 1 – компрессор; 2 – кран шаровой; 3 – ротаметр; 4 – напоромер; 5 – патрон; 6 – фильтроэлемент; 7 – трубопровод напорный

Установка содержит компрессор 1, к которому последовательно дюритовыми трубками 7 присоединены: кран 2, ротаметр 3, напоромер 4 и патрон 5, в котором установлен фильтроэлемент 6. Вход компрессора соединен с атмосферой.

Конструктивно установка выполнена в виде рамочного каркаса, содержащего две стойки с опорами, соединенные между собой ригелями, на которых закреплены элементы 2 – 7.

Компрессор 1 смонтирован на платформе между опорами стоек. Органы управления прибора смонтированы в соответствии с эргономическими требованиями к лабораторному оборудованию.

Сопротивление фильтроэлемента потоку воздуха определяли следующим образом: из компрессора через регулировочный кран на него под различным давлением подавался чистый атмосферный воздух. Давление до фильтра измеряли с помощью напоромера, давление после фильтра соответствовало атмосферному. Значение сопротивления фильтроэлемента Δp определяли как разницу полных давлений до и после фильтроэлемента [1].

Известно, что на газодинамические характеристики фильтроэлементов, оказывают влияние их пористость и толщина стенки, поэтому было интересно исследовать, как данные параметры будут влиять на сопротивление фильтроэлемента потоку воздуха.

Влияние пористости на скорость прохождения потока воздуха через фильтр определяли на установке, представленной на рисунке 1, на образцах составом 32 масс.% Al и 68 масс.% Ni, с пористостью 60 и 63 % и толщиной стенки равной 4 мм. Перепад давления воздуха между входом и выходом

фильтра во время опытов выдерживали на уровне 0,6; 1; 1,6; 2 и 2,6 кПа. На выходе фильтроэлемента ротаметром определяли объемную скорость потока воздуха. Полученные величины пересчитывали на скорость потока воздуха, проходящего через фильтроэлемент.

По полученным экспериментальным данным, был построен график зависимости сопротивления фильтра от скорости прохождения через него потока воздуха. Результаты эксперимента представлены на рисунке 2.

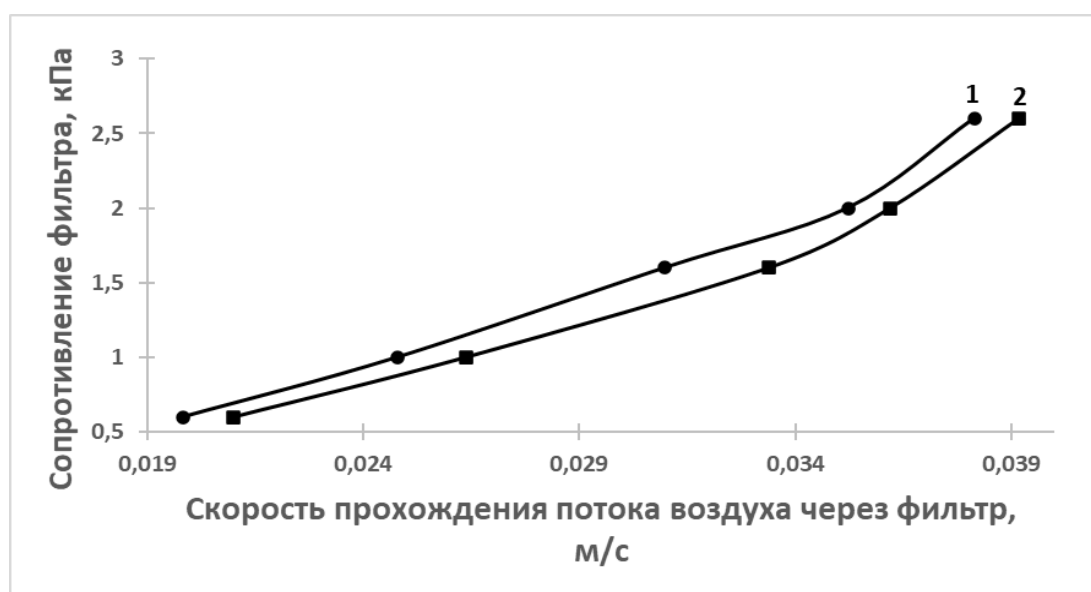


Рисунок 2 – Зависимость сопротивления фильтра с толщиной стенки 4 мм от скорости прохождения через него потока воздуха: 1 – фильтр с пористостью 60 %; 2 – фильтр с пористостью 63 %

Таким образом, можно сделать вывод, что сопротивление фильтроэлемента возрастает с уменьшением его пористости, а значит растет и его энергоемкость.

Для оценки влияния толщины стенки фильтра на его сопротивление потоку воздуха, использовали образцы с пористостью 58% и толщиной стенки: 4, 8 и 12 мм. Определение сопротивления проводили по методике, описанной выше. По полученным экспериментальным данным строили график зависимости сопротивления фильтра от скорости прохождения через него потока воздуха. Результаты представлены на рисунке 3.

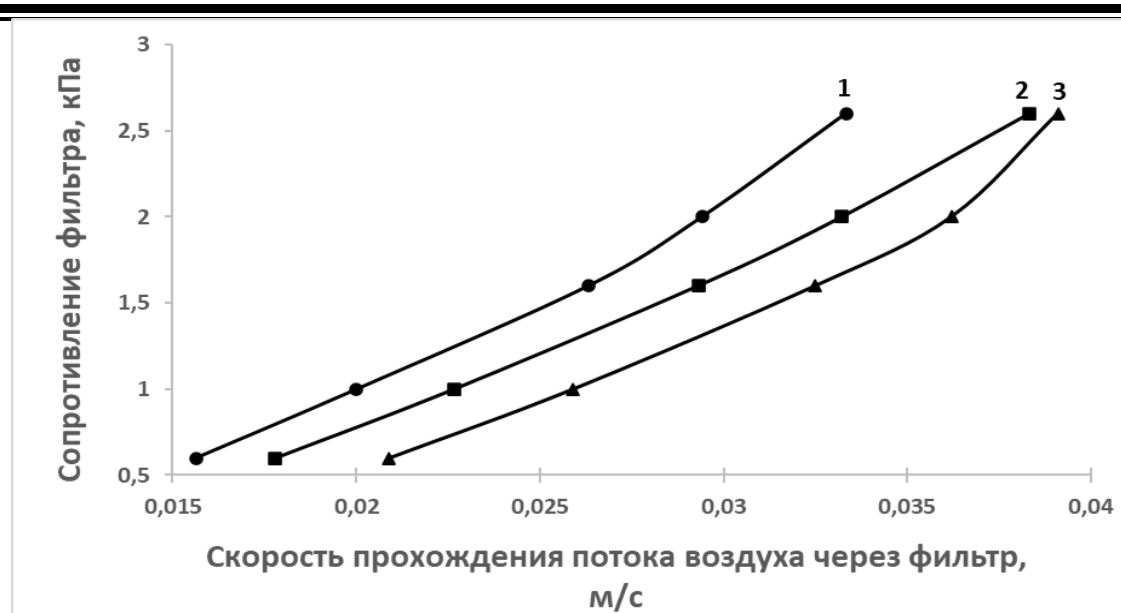


Рисунок 3 – Зависимость сопротивления фильтра с пористостью 58% от скорости прохождения через него потока воздуха: 1 – толщина стенки фильтра 12 мм; 2 – толщина стенки фильтра 8 мм; 3 – толщина стенки фильтра 4 мм

Как видно из рисунка 3, увеличение толщины стенки фильтра приводит к увеличению его сопротивления.

Выводы. В ходе проделанной работы, методом СВС в поле центробежных сил синтезированы металлокерамические фильтроэлементы цилиндрической формы химического состава 32 масс. % Al и 68 масс. % Ni, с пористостью (58; 60 и 63 %) и толщиной стенки (4, 8 и 12 мм). На разработанной установке, проведены исследования газодинамических характеристик синтезированных фильтроэлементов. Установлено, что с уменьшением пористости и увеличением толщины стенки фильтроэлемента, сопротивление его потоку воздуха возрастает.

Перечень ссылок

1. ГОСТ Р 50554-93. Промышленная чистота. Фильтры и фильтрующие элементы. Методы испытаний: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 20.04.93 N 110: дата введения 1994-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025912> (дата обращения: 21.04.2025). – Текст: электронный.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ СТРУИ МЕТАЛЛА, ПОДАВАЕМОГО В ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОВШ МНЛЗ

С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, А.И. Цыхмистро, М.А. Кофанов
ФГБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР

Аннотация. *Представлены результаты физического моделирования процесса разливки стали с обеспечением разрежения в полости огнеупорной трубы, экранирующей от окружающей атмосферы струю стали на участке разливочный ковш – промежуточный ковш МНЛЗ для обеспечения частичной дегазации разливаемого металла, защиты его от вторичного окисления и снижения скорости истечения.*

Annotation. *The results of physical modeling of the steel casting process with the provision of vacuum in the cavity of the refractory pipe shielding the steel stream from the surrounding atmosphere in the section of the casting ladle – intermediate ladle CCM to ensure partial degassing of the poured metal, protect it from secondary oxidation and reduce the velocity of outflow.*

Ключевые слова: *затвор, защитная труба, разрежение, скорость струи металла*

Keywords: *valve, protective tube, vacuum, metal jet velocity*

Одним из главных направлений дальнейшего развития современного сталеплавильного производства следует признать разработку перспективных образцов технологического оборудования, используемого на заключительном этапе процесса получения непрерывно-литой заготовки [1]. Как известно, на технико-экономические показатели работы машины непрерывного литья заготовок существенное влияние оказывают гидродинамические явления, протекающие в ванне промежуточного ковша. Поэтому вопросу возможного активного влияния на них с целью обеспечения благоприятных условий формирования потоков жидкой стали, при которых достигается стабильность скорости и температуры разливки, уделяется особое внимание [2 - 4]. На кафедре механического оборудования заводов черной металлургии Донецкого национального технического университета в настоящее время ведутся работы, связанные с реализацией способа снижения динамического воздействия на рабочий слой огнеупорной футеровки днища промежуточного ковша вертикально направленного потока металла, формируемого в зоне внедрения в жидкую ванну струи стали, истекающей из основного ковша со скоростью, значение которой по ходу разливки

изменяется от 10 до 4 м/с. Ранее сотрудниками кафедры для этой цели было предложено дополнительно снабдить ковшовый шиберный затвор воздушным эжектором, создающим разрежение в полости защитной огнеупорной трубы, неподвижно связанной со стаканом-коллектором разливочного устройства байонетным креплением [5]. В связи с тем, что в данной разливочной системе защитная огнеупорная труба имела стационарное крепление, ее нельзя было заменить при необходимости во время разливки, данная разработка не нашла промышленного применения. Для устранения выявленного недостатка решено использовать ковшовый затвор, включающий воздушный эжектор, в комплексе с манипулятором, удерживающим защитную огнеупорную трубу в состыкованном положении с металлической обоймой стакана-коллектора.

Проверку работоспособности модернизированной разливочной системы провели с использованием физического моделирования, позволяющего достичь поставленной цели с минимальными материальными и временными затратами. Для этого изготовили натурные модели шиберного затвора, защитной трубы и манипулятора, показанные на рис. 1 и 2.



Рисунок 1 – Модели ковшового шиберного затвора (а) и защитной огнеупорной трубы (б)



Рисунок 2 – Натурная модель манипулятора для удержания
защитной огнеупорной трубы

Поскольку главными параметрами, характеризующими гидродинамику процессов, протекающих в ванне промежуточного ковша, считают

скорость потоков металла, то при физическом моделировании этих процессов в первую очередь осуществили контроль указанной физической величины, для чего использовали специальный зонд, снабженный тензорезисторным преобразователем и схематично показанный на рис. 3 а. Зонд включает плоский упругий элемент 5 с наклеенными фольговыми тензодатчиками, помещенный в герметичный стеклянный баллон 3, верхняя часть которого жестко соединена с полый штангой 4, служащей для его фиксации в нужном положении во время проведения измерений, а также вывода проводов, соединяющих контакты датчиков с усилителем. Верхний конец упругого элемента зашпечен, а нижний соединен с рычагом 1, вставленным в отверстие резинового колпачка 2, надетого на нижнюю часть баллона. На нижнем конце рычага 1 посредством резьбового соединения закреплен диск 6. Для оценки степени снижения скорости нисходящего потока жидкости, симулирующей разливаемую сталь в модели промежуточного ковша в соответствии со схемой, показанной на рис. 3 б, зонд 5 размещали вблизи днища модели промежуточного ковша соосно с выходным

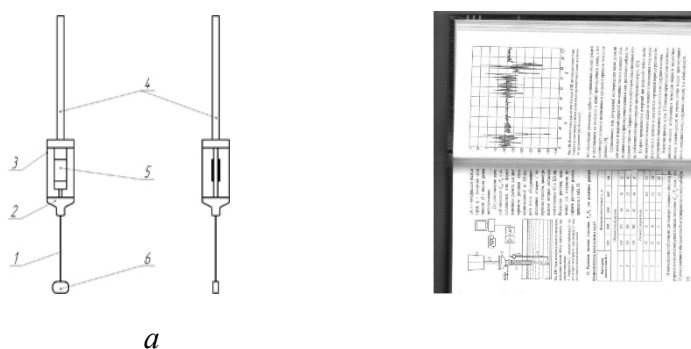


Рисунок 3 - Схема зонда (а) и место его размещения при контроле скорости нисходящего потока в ванне модели промежуточного ковша (б)

отверстием модели защитной трубы 4, пристыкованной к стакан-коллектору модели ковшового шиберного затвора 3, посредством вертикального трубопровода 2 связанного с напорной емкостью 1.

Разливку моделировали по существующей технологической схеме (фото на рис. 4 а), а также с разрежением в полости модели защитной трубы (фото на рис. 4 б).



Рисунок 4 – Моделирование разливки по существующей технологической
схеме (а) и с разрежением в полости защитной
трубы (б)

При втором варианте разливки в полости модели защитной трубы наблюдался подъем уровня образующейся водо-воздушной суспензии, что свидетельствовало о возбуждении процесса дегазации модельной жидкости благодаря создаваемому разрежению в околоструйном пространстве, а также фиксировалось снижение почти в 3 раза скорости жидкостного потока на записях сигналов (рис. 5).

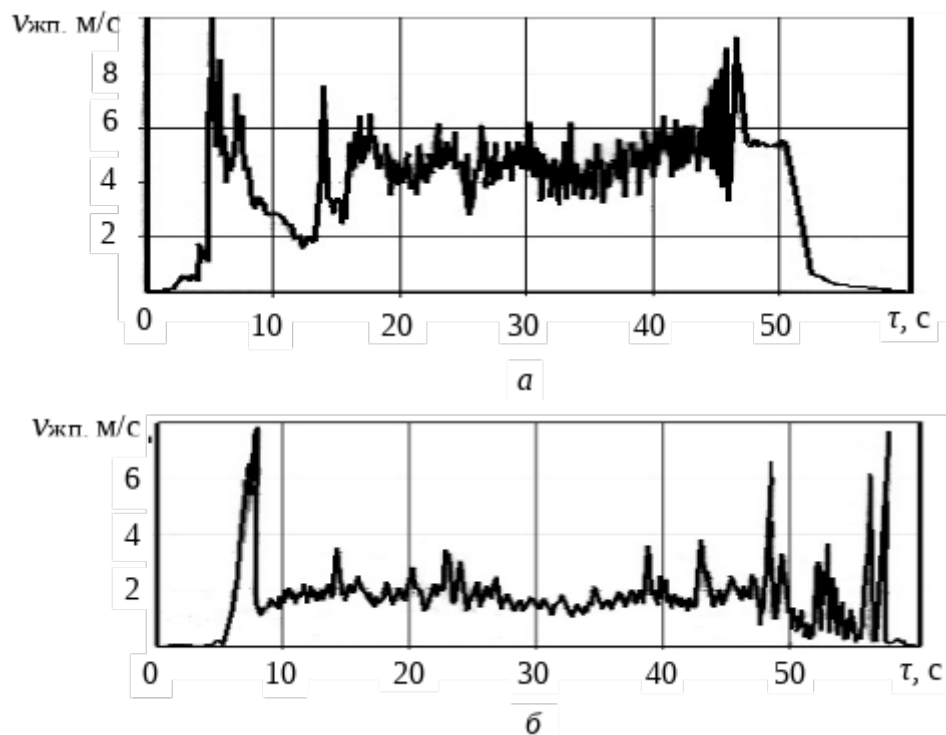


Рисунок 5 – Сигналы, зарегистрированные при контроле скорости жидкостного потока
на выходе из полости защитной трубы при отсутствии (а) и создании в ней разрежения
(б)

Таким образом, создаваемое разрежение в полости защитной огнеупорной трубы способствует одновременному развитию двух процессов при перетекании стали из разливочного ковша в промежуточный: ее частичной дегазации и уменьшению скорости нисходящего металлического потока в приемной зоне промежуточного ковша. Благодаря этому в его ванне обеспечиваются гидродинамические условия, благоприятствующие удалению неметаллических включений из разливаемого металла и снижению интенсивности износа рабочего слоя футеровки днища промежуточного ковша, что будет способствовать улучшению качества отливаемой заготовки и сокращению затрат, связанных с расходом огнеупоров.

Полученная информация была использована при разработке технического проекта модернизированной системы ковшового шибберного затвора, предназначенной для использования в условиях серийной разливки стали с обеспечением ее защиты от вторичного окисления на современных высокопроизводительных машинах непрерывного литья заготовок. Ее внедрение на отечественных металлургических предприятиях будет способствовать решению задач импортозамещения.

Выводы. Полученные с использованием метода физического моделирования данные лабораторных исследований позволяют еще на стадии проектирования выполнить проверку правильности технических решений, принимаемых при разработке перспективных образцов нового оборудования для серийной разливки стали на современных высокопроизводительных машинах непрерывного литья заготовок.

Перечень ссылок

1. Процессы непрерывной разливки / А.Н. Смирнов [и др.]-Донецк: ДонНТУ, 2002.- 536 с.
2. Гидродинамические условия для удаления неметаллических включений в промежуточных ковшах МНЛЗ / Г.В. Ефимов [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность.- 2002.- № 10.- С. 56 – 58.
3. Тимохин О.А. Исследование движения металла в промежуточном ковше МНЛЗ // Черные металлы.- 2002.- № 2.- С. 18 – 21.
4. Исследование гидродинамики металла в промежуточном ковше слябовой МНЛЗ / Е.В. Протопопов [и др.] // ОАО «Черметинформация». Бюл. «Черная металлургия».- 2009.- № 2.- С. 24 – 26.
5. Еронько С.П. Исследование и разработка устройства для непрерывной разливки стали в разреженной атмосфере // Известия вузов. Черная металлургия.- 2003.- № 5.- С. 20 – 23.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ АМК ООО «ЮГМК»

Д.А. Власенко

Аннотация. Представлены результаты повышения энергоэффективности дробильно-измельчительного оборудования, используемого для фракционной подготовки шихтовых материалов в агломерационном цехе АМК ООО «ЮГМК». Предложен метод определения силовых параметров процесса дробления материалов сфероидной формы, за счет которого обоснованы рациональные энергосиловые параметры приводов дробильных машин, позволившие снизить мощность электродвигателей молотковых дробилок на 20,0 %, четырехвалковых – на 22,2 % и 44,4 %.

Annotation. The article presents the results of increasing the energy efficiency of crushing and grinding equipment used for fractional preparation of charge materials in the sintering shop of the AMP of LLC «SMMC». A method for determining the power parameters of the process of crushing spheroid-shaped materials is proposed, due to which rational energy-power parameters of crushing machine drives are substantiated, which made it possible to reduce the power of hammer crusher electric motors by 20,0%, four-roll crushers – by 22,2% and 44,4%.

Ключевые слова: дробильно-измельчительное оборудование, молотковая дробилка, четырехвалковая дробилка, мощность привода, коэффициент характерной формы и анизотропии прочностных свойств, энергоэффективность

Key words: crushing and grinding equipment, hammer crusher, four-roll crusher, drive power, coefficient of characteristic shape and anisotropy of strength properties, energy efficiency

Несмотря на то, что процессам дробления и измельчения посвящено большое количество исследований, все же они далеки от совершенства. Наряду с относительно невысоким сроком службы рабочих органов и высокой металлоемкостью оборудования, дробильные машины характеризуются высоким энергопотреблением, которое может достигать 100 кВт·час/т [1], и, как показывает опыт, мощность электродвигателей дробилок, зачастую является избыточной. В таких условиях привод работает при относительно низкой загрузке – отношении мощности, потребляемой рабочим органом машины, к номинальной мощности двигателя. Данный

режим работы не является рациональным с точки зрения технико-экономических показателей, так как это обуславливает дополнительные капитальные вложения, увеличение массы, габаритов двигателя и привода. При этом коэффициент загрузки значительно сказывается на потреблении двигателем реактивной мощности, что напрямую влияет на энергопотребление дробильной машины [2, 3].

В агломерационном производстве Алчевского металлургического комбината ООО «ЮГМК» (АМК ООО «ЮГМК») шихтовые материалы (агломерационные флюсы, твердое топливо) подвергаются фракционной подготовке в молотковых и четырехвалковых дробилках, и как показывает практика – мощность приводов данных дробильных машин существенно завышена [2, 3], в связи с чем возникает необходимость обоснования их рациональных параметров.

Для определения силовых параметров процесса дробления в дробильных машинах в настоящее время используются различные методы, существенным недостатком которых является то, что в них кусок материала при разрушении рассматривается как сплошная лента или отдельный кусок правильной геометрической формы, что позволяет с достаточной степенью точности получить значения силы дробления, при которой происходит его разрушение в сечениях кусков в форме куба, цилиндра или параллелепипеда.

В реальных условиях большинство материалов, подвергаемых дроблению, имеют характерную форму, которой наиболее соответствует сфероид [2, 3], что не позволяет при использовании существующих методов определить рациональное значение силы дробления и соответственно мощности привода дробильных машин. При этом в данных методах не учитывается степень анизотропии прочностных свойств дробимого материала.

В связи с этим разработан метод [4], позволяющий обосновать коэффициент характерной формы и степени анизотропии прочностных свойств материалов сфероидной формы, позволяющего повысить точность определения силовых параметров процесса дробления хрупких материалов.

Согласно работам [2–4] сила, необходимая для разрушения куска анизотропного материала сфероидной формы при одноосном сжатии $F_{др}$, определяется из выражения, полученного с использованием закона Гука при малых деформациях, критерия прочности Мора-Кулона в терминах главных напряжений, задачи Буссинеска о распределении напряжений в упругом полупространстве от действия вертикальной сосредоточенной силы на граничной плоскости, а также физического, геометрического смысла и свойств кратных определенных интегралов:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{3}{\pi (S_K - S_\delta)} \int_{-r_K}^{r_K} \int_{r_K - \sqrt{r_K^2 - x^2}}^{r_K} \left[\frac{F_{\text{ДР}} y_{\delta_D} z^2}{\sqrt{x^2 + y_{\delta_D}^2 + z^2}^5} - \frac{F_{\text{ДР}} y_{\delta_D} z^2}{\sqrt{x^2 + y_{\delta_D}^2 + z^2}^5} \right] dx dy \quad (1)$$

где S_K – площадь «опасного» сечения ($S_K = \pi r_K^2$, где r_K – радиус сфероиды, м), м²; S_δ – площадь зоны деформации, м²; y_{δ_D} , x_{δ_D} – координаты точек приложения сил на секторах зоны деформации, м; σ_p – предел прочности материала на растяжение, МПа; $\sigma_{сж}$ – предел прочности материала на сжатие, МПа.

Площадь зоны деформации куска определяется как:

$$S_\delta = \frac{r_K^2}{2} (\alpha_D - \sin \alpha_D), \quad (2)$$

где α_D – центральный угол сектора площадки деформации куска:

$$\alpha_D = \arccos \left(\frac{r_K - \delta_D}{r_K} \right), \quad (3)$$

где δ_D – значение деформации куска в направлении вектора сжимающей силы, м.

Координаты точек приложения сил определяются как:

$$x_{\delta_D} = y_{\delta_D} = \frac{4\sqrt{2} r_D}{3\pi}, \quad (4)$$

где r_D – радиус площадки контакта куска с деформирующей поверхностью:

$$r_D = \sqrt{2r\delta_D - \delta_D^2}. \quad (5)$$

Зависимость (1) решается с помощью численных методов относительно $F_{\text{ДР}}$.

Для наглядности восприятия вышеописанной математической модели на рисунке отображены зависимости силы, необходимой для разрушения кусков сферической (1) и кубической (2) формы для материала с пределом прочности на растяжение $\sigma_p = 10$ МПа и на сжатие $\sigma_{сж} = 50$ МПа, от размера куска.

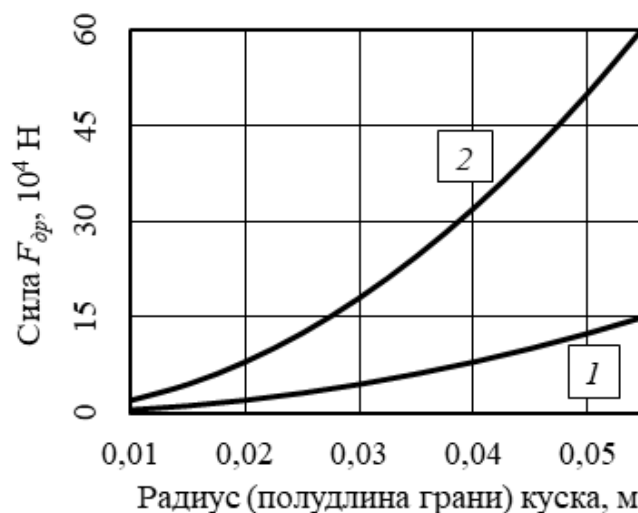


Рисунок – Графики зависимостей разрушающей силы от размера куска сфероидной, цилиндрической и кубической формы

Из анализа результатов видно, что разрушающая сила для куска кубической формы (которую используют при расчетах по существующим методам) значительно больше, чем для сфероида, что обосновывает необходимость использования при расчетах энергосиловых параметров привода дробильно-измельчительных машин коэффициента характерной формы материала k_{ϕ} :

$$k_{\phi} = \frac{P_k}{P_c}, \quad (6)$$

где P_k – разрушающая сила для куба, Н; P_c – сила, необходимая для разрушения сфероида, Н.

С помощью данного метода получены значения коэффициентов характерной формы и анизотропии прочностных свойств для материалов, подвергаемых дроблению в агломерационном производстве АМК ООО «ЮГМК»: кокса доменного – $k_{\phi.к.д.} = 0,083$, кокса сухого тушения – $k_{\phi.к.с.т.} = 0,193$ и известняка флюсового – $k_{\phi.и.} = 0,23$.

Полученные значения коэффициентов характерной формы и анизотропии прочностных свойств в дальнейшем использовались при расчетах рациональных энергосиловых параметров приводов молотковой и четырехвалковой дробилок.

На основании разработанных в работах [3–6] методов с использованием значений $k_{\phi.и.}$, $k_{\phi.к.д.}$ и $k_{\phi.к.с.т.}$ установлено, что расчетная мощность привода молотковой дробилки ДМРиЭ 14,5×13 при дроблении известняка флюсового составляет 395,0 кВт, а для четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 в процессе дробления кокса доменного необходим электродвигатель привода нижних валков мощностью 6,2 кВт; верхних валков – 2,9 кВт, а при

фракционной подготовке кокса сухого тушения – 33,3 кВт и 22,5 кВт.

Адекватность разработанных методов проверялась с помощью эмпирического метода косвенного определения крутящего момента на валу асинхронного электродвигателя при определенной нагрузке [5, 6], относительная погрешность определения мощности электродвигателей дробилок не превысила 34,2 %

Полученные результаты говорят о том, что энергосиловые параметры приводов завышены. Исходя из этого, предлагается использовать для дробилки ДМРиЭ 14,5×13 электродвигатель мощностью 400 кВт, для привода верхних валков дробилки ДЧГ 900×700 – 35 кВт, для нижних – 25 кВт, предварительно проверив их на достаточность пускового момента и перегрузочную способность. Это позволит использовать в существующих приводах дробилок двигателей с меньшей номинальной мощностью: для молотковой дробилки на 20,0 %, для четырехвалковой на 22,2 % и 44,4 %, что позволит снизить дополнительные капитальные вложения, уменьшить массу и габариты двигателя и привода.

Выводы. Предложен аналитический метод определения силовых параметров процесса дробления анизотропных материалов сфероидной характерной формы, за счет которого получены значения коэффициентов характерной формы и анизотропии прочностных свойств шихтовых материалов, подвергаемых фракционной подготовке в условиях агломерационного производства АМК ООО «ЮГМК». На основании ранее разработанных методов определения энергосиловых параметров с использованием полученных значений коэффициентов характерной формы и анизотропии прочностных свойств определены рациональные значения мощности приводов молотковой дробилки ДМРиЭ 14,5×13 при дроблении известняка флюсового и четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 в процессе дробления кокса доменного и кокса сухого тушения. Полученные результаты исследований позволяют снизить номинальную мощность электродвигателей молотковой дробилки на 20,0 %, четырехвалковой – на 22,2 % (для нижних валков) и 44,4 % (для верхних валков).

Список литературы

1. Власенко Д.А. Обоснование конструктивно-технологических параметров процесса дробления материалов в молотковых дробилках: специальность 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)»: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Власенко Дмитрий Алексеевич. – Алчевск, 2019. – 23 с. – EDN SDDPTK.
2. Власенко Д.А. Развитие теории процессов дробления и практика совершенствования валковых дробилок с гладкими и рифлеными валками / Д.А. Власенко. – Алчевск: Донбасский государственный технический институт, 2022. – 172 с. – EDN KJXDCL.
3. Власенко Д.А. Теоретические аспекты моделирования и практика совершенствования молотковых дробилок с комбинированным подвесом молотков / Д.А. Власенко. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – 142 с. – ISBN 978-5-907710-15-3. – EDN MFKTLB.

4. Власенко Д.А. Исследование процесса разрушения хрупких тел деформацией сжатия в валковых дробилках / Д.А. Власенко, В.П. Долгих // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – С.П.-6.: НИЦ МС, 2023. – № 20. – С. 46–52. – <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-20-46-52>. – EDN GGARKY.
5. Vlasenko D.A. Study of the Energy-Power Parameters of the Crushing Process in Hammer Crushers / D.A. Vlasenko // Steel in Translation. – 2022. – Vol. 52, №. 10. – P. 979–986. – <https://doi.org/10.3103/s0967091222100151>. – EDN WNUZXA.
6. Vlasenko D.A. Justification of Rational Energy-Power Parameters of the Drive of Roll Crushers / D.A. Vlasenko // Steel in Translation. – 2023. – Vol. 53, №. 7. – P. 640–647. – <https://doi.org/10.3103/s0967091223070124>. – EDN KKWСYK.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЛАЧНЫХ САПР ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ УГОЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

А. С. Атауллин, А. Ю. Черепяхин, Е. А. Буленков
ФГБОУВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

В данной работе проанализированы особенности эффективного применения облачных приложений при изготовлении изделий угольного машиностроения.

Описаны преимущества и недостатки облачных приложений.

This paper analyzes the features of effective use of cloud applications in the manufacture of coal engineering products. The advantages and disadvantages of cloud applications are described.

Ключевые слова: *облачное производство, технологический процесс, Индустрия 4.0.*

Keywords: *cloud production, technological process, Industry 4.0.*

Угольное машиностроение остается ключевым элементом мировой энергетики и промышленности, обеспечивая создание специализированного оборудования для добычи, транспортировки и переработки угля. Традиционные системы автоматизированного проектирования (CAD), несмотря на их широкое распространение, сталкиваются с рядом ограничений в современных реалиях. Высокая стоимость лицензий, необходимость поддержки локальной IT-инфраструктуры, а также сложности в организации коллаборации между распределёнными командами замедляют процесс разработки и увеличивают затраты. В условиях глобализации производства и необходимости быстрого внедрения инженерных решений переход к облачным CAD-системам становится стратегическим преимуществом.

Цель данной статьи — провести системный анализ возможностей и ограничений облачных CAD-систем в контексте специфики угольного машиностроения. В фокусе исследования находятся вопросы адаптации облачных технологий к требованиям отрасли, включая моделирование высоконагруженных конструкций, обеспечение кибербезопасности и оптимизацию взаимодействия между участниками проектов.

Классические инструменты автоматизированного проектирования, такие как «SolidWorks» и «AutoCAD», долгое время являлись основой для разработки горнодобывающего оборудования. Например, в исследовании компании Dassault Systèmes [1] подчеркивается, что SolidWorks активно

применяется для моделирования шахтных конвейеров и буровых установок благодаря мощным возможностям параметрического моделирования и анализа напряжений.

Однако локальные CAD-системы сталкиваются с рядом ограничений. По данным отчета Grand View Research [2], высокая стоимость лицензий (до \$10 тыс. в год на пользователя) и необходимость обновления ПО делают их малодоступными для малых и средних предприятий. Кроме того, традиционные решения затрудняют коллаборацию: отсутствие облачной синхронизации приводит к версионным конфликтам, что особенно критично для международных проектов.

Несмотря на прогресс в других секторах, применение облачных CAD-систем в угольном машиностроении остается малоизученным. Большинство публикаций посвящены общим инженерным задачам, игнорируя специфику проектирования оборудования для угольных шахт (высокая запыленность, вибрационные нагрузки)[3].

Для систематического анализа возможностей и ограничений облачных CAD-систем в угольном машиностроении была разработана методология, основанная на следующих критериях:

1. Функциональность:

— Способность решать задачи параметрического моделирования, симуляции нагрузок и генерации документации (например, ГОСТ-чертежей).

— Совместимость с форматами файлов, используемыми в отрасли (STEP, IGES, DWG).

2. Безопасность данных:

— Оценка протоколов шифрования (например, AES-256) и методов аутентификации (двухфакторная аутентификация).

— Соответствие требованиям отраслевых стандартов.

3. Интеграция с производственными процессами:

— Возможность синхронизации с CAM-системами и PLM-платформами для сквозного управления жизненным циклом изделия.

— Поддержка API для настройки под специфические задачи (например, автоматизация расчетов нагрузок для шахтных конвейеров).

Эти факторы определили ключевые направления анализа, такие как возможность облачных систем выполнять прочностные расчеты для крупногабаритных конструкций и обеспечивать гибридные сценарии работы (облако + локальные серверы).

Внедрение облачных CAD-систем в угольное машиностроение открывает значительные возможности для модернизации отрасли, однако сопровождается комплексом технических и организационных сложностей. Одним из ключевых преимуществ является ускорение цикла проектирования за счет распределенной работы инженеров.

Еще одним преимуществом становится снижение затрат на IT-инфраструктуру. Предприятиям больше не требуется закупать дорогостоящие рабочие станции с мощными графическими процессорами — ресурсоемкие расчеты выполняются в облаке. Кроме того, облачные платформы автоматически обновляют ПО, устраняя простои, связанные с переходом на новые версии CAD-систем.

Однако внедрение сталкивается с вызовами, многие из которых связаны с особенностями угольной промышленности. Например, в удаленных шахтных регионах с нестабильным интернет-соединением использование облачных решений становится проблематичным. Не менее остро стоит вопрос кибербезопасности. Утечка данных о конструкции оборудования может привести к потере конкурентных преимуществ, поэтому такие платформы, как PTC Creo Cloud, внедряют блокчейн-технологии для отслеживания изменений и защиты интеллектуальной собственности.

Таким образом, облачные CAD-системы постепенно становятся ядром цифровой трансформации угольного машиностроения. Их успех зависит не только от технологической зрелости, но и от способности отрасли переосмыслить подходы к коллаборации, безопасности и управлению данными.

Перечень ссылок

1. FISHER/UNITECH (2019) Getman Mines for Greater Efficiency and Profitability with SOLIDWORKS // SOLIDWORKS. – URL: <https://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2019/02/getman-mines-for-greater-efficiency-and-profitability-with-solidworks.html> (дата обращения: 10.05.2025).
2. 3D CAD Software Market Size, Share & Trends Analysis Report By Deployment (Cloud, On-premises), By Application (AEC, Manufacturing, Automotive, Healthcare, Media & Entertainment), By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030 // Grand View Research. – URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-cad-software-market> (дата обращения: 10.05.2025).
3. Yongkui Liu et al. (2018) Cloud manufacturing: latest advancements and future trends // Procedia Manufacturing.- 25.- 62–73. ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.058>.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ УДАРНЫХ НАГРУЗКАХ

В.В. Малащенко

ФГБНУ «ДОНЕЦКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Получена аналитическая зависимость динамического предела текучести легированного сплава от скорости пластической деформации при ударных нагрузках.

Annotation. An analytical dependence of the dynamic yield strength of an alloy on the rate of plastic deformation under impact loads was obtained.

Ключевые слова: высокоскоростная деформация, динамический предел текучести, сплавы, примеси.

Keywords: high strain rate deformation, dynamic yield stress, alloys, impurities.

Механические свойства функциональных материалов, обладающих кристаллической решёткой, определяются зарождением и перемещением по кристаллу дислокаций – линейных структурных дефектов, которые являются границей незавершённого сдвига. Перемещаясь по кристаллу, дислокации испытывают сопротивление других дефектов структуры, сила их сопротивления во многом определяет формирование таких механических свойств, как предел текучести, прочность и пластичность. Добавляя в сплав легирующие примеси, мы можем влиять на его прочностные свойства. Преодолевать упругие поля структурных дефектов дислокации могут двумя способами: либо с помощью тепловых флуктуаций (это происходит при квазистатическом деформировании), либо динамическим образом (это реализуется в условиях высокоскоростной деформации, когда внешние нагрузки столь велики, что кинетическая энергия дислокаций превосходит высоту потенциальных барьеров, создаваемых препятствиями). Высокоскоростная деформация имеет место при лазерной и высокоскоростной обработке, лазерной обработке металлов и сплавов, динамическом канально-угловом прессовании, штамповке, ковке и других воздействиях, связанных с ударными нагрузками [1]. Взаимодействие дислокаций со структурными дефектами при надбарьерном движении имеет ряд существенных особенностей, которые удовлетворительно описываются развитой нами теорией динамического взаимодействия дефектов (ДВД) [2-4]. Эта теория является модификацией струнной модели Гранато-Люкке. Она позволила в рамках единого подхода объяснить ряд экспериментально наблюдающихся закономерностей, а также предсказать новые динамические эффекты. Целью настоящей работы является получение аналитической

зависимости динамического предела текучести сплава с высокой концентрацией легирующей примеси от скорости пластической деформации в условиях ударных нагрузок.

Проанализируем в рамках теории ДВД надбарьерное скольжение ансамбля краевых дислокаций под действием внешнего напряжения σ_{xy}^0 параллельно оси OX с постоянной скоростью v в легированном сплаве, содержащем хаотически распределённые атомы легирующих примесей. Положение k -ой дислокации определяется функцией

$$S_k(y=0, z, t) = vt + s_k(y=0, z, t) \quad (1)$$

Колебания, возникающие в плоскости скольжения в результате взаимодействия со структурными дефектами, описываются функцией $s_k(z, t)$. Механизм диссипации заключается в необратимом переходе энергии внешних воздействий в энергию поперечных колебаний дислокации в плоскости её скольжения. Движение k -ой дислокации ансамбля может быть описано следующим уравнением

$$m \left\{ \frac{\partial^2 S}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} \right\} = b \left[\sigma_{xy}^0 + \sigma_{xy}^d + \sigma_{xy}^{dis} \right] - B \frac{\partial S}{\partial t} \quad (2)$$

Здесь m – масса единицы длины краевой дислокации, σ_{xy}^d – компонента тензора напряжений, создаваемых атомами легирующей примеси на линии дислокации, σ_{xy}^{dis} – компонента, создаваемая остальными дислокациями ансамбля, c – скорость распространения в кристалле поперечных звуковых волн, B – константа фононного торможения.

Решение данного уравнения можно найти методом функций Грина

$$w_k = \iint dt' dz' G(z - z', t - t') \frac{b}{m} \sigma_{xy}^G(z', t') \quad (3)$$

Фурье-образ функции Грина имеет следующий вид

$$G(\omega, q_z) = \frac{1}{\omega^2 + i\beta\omega - c^2 q_z^2 - \Delta^2} \quad (4)$$

Здесь введены обозначения: Δ – щель в спектре дислокационных колебаний, $\beta = B/m$.

Выполняя необходимые вычисления, получим зависимость динамического предела текучести сплава от скорости пластической деформации

$$\tau = K\dot{\varepsilon} \left(\frac{1}{1 + (\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_d)^2} + \frac{B}{\rho bc} \right) \quad (5)$$

Здесь K – константа, зависящая от плотности дислокаций и концентрации примесей, $\dot{\varepsilon}$ – скорость пластической деформации, $\dot{\varepsilon}_d$ – критическая скорость пластической деформации, зависящая от концентрации примесей и определяющая границу области коллективного взаимодействия примесей с дислокацией. ρ – плотность дислокаций. Анализ полученного выражения показывает, что при высокой концентрации примеси скоростная зависимость становится немонотонной и имеет максимум и минимум, ограничивающие область неустойчивости пластической деформации. Оценки показывают, что возникновение такой области возможно при концентрации примеси $10^{-1} - 10^{-3}$.

Выводы. Высокая концентрация легирующих добавок в сплавах в условиях ударных нагрузок может привести к возникновению немонотонной скоростной зависимости динамического предела текучести и появлению области неустойчивой пластической деформации.

Перечень ссылок

1. Tramontina D.R. Simulation of Tantalum Nanocrystals Under Shock-Wave Loading: Dislocations and Twinning / D.R. Tramontina, E.N. Hahn, M.A. Meyers, and E.M. Bringa // AIP Conference Proceedings.- 2017.-1793.- 070002 (1-6).
2. Malashenko V.V. Self-Consistent Description of the Effect of Point Defects on Spectrum and Dynamic Deceleration of Dislocations / V.V. Malashenko, V.L. Sobolev, B.I. Khudik // Phys. Stat. Sol. (b). – 1987. –Vol.143, №2. – P.425-431.
3. Malashenko, V.V. Influence of the Guinier–Preston Zones on the Concentration Dependence of the Yield Point of the Aged Two-Component Alloys in Conditions of High-Speed Deformation / V.V. Malashenko // Physics of the Solid State- 2019.- Vol. 61, No. 10, pp. 1800–1803.
4. Malashenko, V.V. Concentration Dependence of the Dynamic Yield Stress of Aged Aluminum–Copper Alloys under High-Rate Deformation Conditions / V.V. Malashenko // Technical Physics Letters.- 2018.- Vol. 44, No. 9, pp. 827–829
5. Malashenko V.V. Influence of the Guinier–Preston Zones on the Concentration Dependence of the Yield Point of the Aged Two-Component Alloys in Conditions of High-Speed Deformation / V.V. Malashenko // Physics of the Solid State.- 2019.- Vol. 61, No. 10, pp. 1800–1803.

ВЛИЯНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А.К. Лямасов, А.В. Волков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет
«МЭИ»

М.А. Першуков

Акционерное общество «Ясногорский насосный завод»

Рассматриваются вопросы повышения эффективности и надежности работы центробежных насосов путем использования структурированных органических покрытий. Приводятся исследования оборудования различных конструкций и для различных областей промышленности. Полученные результаты проецируются на многоступенчатые центробежные насосы типа ЦНС, используемых в энергетике, при водоотливе шахт и в других отраслях.

The issues of increasing the efficiency and reliability of centrifugal pumps by using structured organic coatings are considered. Experimental studies of equipment of various designs and for various areas of industry are presented. The results obtained are projected onto multistage centrifugal pumps (CNS type) used in power engineering, mine drainage and other industries.

Ключевые слова: гидромашиностроение, центробежные насосы, природоподобные технологии, модификация поверхностей, гидрофобность

Keywords: hydraulic engineering, centrifugal pumps, nature-like technologies, surface modification, hydrophobicity

В этом году в России стартует национальный проект «Новые атомные и энергетические технологии». Главная цель данного нацпроекта – обеспечить технологический суверенитет и лидерство России в энергетике в ближайшие пять лет. Он должен позволит увеличить производство отечественного оборудования для электроэнергетики и нефтегазовой отрасли и тем самым обеспечить технологический суверенитет в российском ТЭК.

Реализация основных задач национального проекта неразрывным образом связана с проведением большого объема научных исследований и опытно-конструкторских работ.

При этом стоит отметить широкий перечень типов, марок и моделей центробежных насосов, которые применяются в ТЭК. В номенклатуру оборудования входят гидромашины различной быстроходности, с

проточными трактами с одним рабочим колесом и многоступенчатые, для чистой воды, воды со взвесями и различных агрессивных сред. Данные насосы обеспечивают функционирование как основных технологических циклов (питательные, бустерные, конденсатные, дренажные, циркуляционные, сетевые и подпиточные), так и вспомогательных систем (насосы технической воды, пожарные, химической очистки и промывки). Разнообразие конструкций легко позволяет распространить результаты работы по разработке и модернизации насосного оборудования ТЭК на другие области промышленности.

Следует подчеркнуть, что в эксплуатационных затратах на насосное оборудование оплата электроэнергии составляет более 90%, поэтому вопросы повышения эффективности и уменьшения потерь насосных агрегатов представляют важную народно-хозяйственную задачу.

Одним из способов повышения эффективности и надежности центробежных насосов является модификация функциональных поверхностей проточной части. Данный подход является перспективным способом модернизации оборудования как для производителей, так и для эксплуатирующих организаций. Основным достоинством такой модернизации является сохранение геометрии элементов проточной части и конструкции насоса в целом [1].

Основными целями модификации поверхностей проточной части, обеспечивающей повышение эффективности и надежности центробежных насосов, являются: изменение гидродинамического взаимодействия твердой поверхности и перекачиваемой среды; уменьшение потерь; повышение коррозионной стойкости поверхности; повышение стойкости к эрозионному, кавитационному и абразивному износу. Эти задачи могут быть решены путем создания различных покрытий на рабочих поверхностях проточной части, приводящих к изменению их условий смачиваемости.

Поверхности с наименьшей смачиваемостью характеризуются как гидрофобные. Фундаментальные принципы гидрофобности, а в особенности ультрагидрофобности, были описаны несколько десятилетий назад [2]. На сегодняшний день работы в данной области продолжаются и идеи развиваются с учетом биомиметических подходов, поскольку одним из ярких примеров ультрагидрофобной поверхности является микроструктура листа лотоса (рисунок 1).

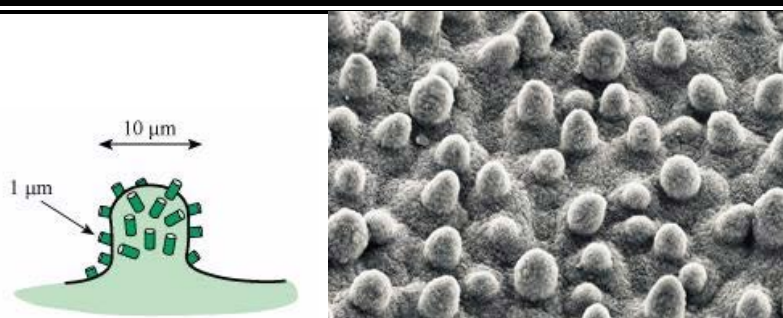


Рисунок 1. Ультрагидрофобная поверхность листа лотоса

Степень гидрофобности обычно определяется измерением угла контакта капли воды с поверхностью. Угол между поверхностью и водяным мениском возле линии контакта измеряется через каплю, что дает характеристику смачиваемости поверхности (при этом на нее оказывает влияние размер капли).

Существует большое количество возможностей по переводу металлических поверхностей в класс гидрофобных. Рассмотрим один из походов, основанный на методике, разработанной в НИУ «МЭИ» [3]. В ее основе лежит адсорбция молекулами поверхностно активных веществ (ПАВ). По своему строению такие молекулы дифильны (рисунок 2) и состоят из двух частей: полярной группы амина и неполярного углеводородного радикала.

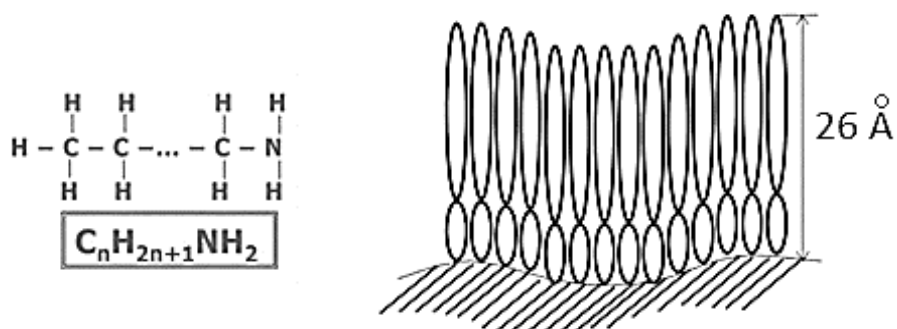


Рисунок 1. Структурная формула (слева) и схема расположения молекул ПАВ на металлической поверхности (справа).

Гидрофобизация металлической поверхности ПАВ происходит в результате ориентированной адсорбции, приводящей к тому, что полярные группы фиксируются на поверхности, а углеводородные радикалы обращены во внешнюю среду, создавая водоотталкивающий слой.

Использование эффекта «лотоса» для повышения эффективности центробежных насосов имеет большие перспективы и отражено, в частности, в ряде работ по данному направлению [4-5].

Рассмотрим один из примеров использования данного подхода при изучении изменения характеристик насоса КМ 40-32-180.

На рисунке 3. представлена фотография, характеризующая смачиваемость поверхности рабочего колеса исследуемого насосного агрегата. В исходном состоянии величина краевого угла составила приблизительно 55° . После реализации ПАВ-технологии шероховатость поверхностей рабочего колеса осталась неизменной (75 мк), однако поверхность колеса приобрела ярко выраженные гидрофобные свойства. Величина краевого угла составила приблизительно 130° .



Рисунок 3. Макрофотография капли на поверхности РК насоса в исходном состоянии и после нанесения покрытия на основе ПАВ

Технологическое решение, которое было применено в данном случае позволило осуществить модернизацию всех функциональных поверхностей элементов проточной части насоса без его разборки и применения специальных устройств, что выгодно для эксплуатирующих организаций и производителей.

Экспериментальные исследования ПАВ-технологии, были осуществлены на энерго-кавитационном стенде ЗАО «ПОМПА» г. Щелково. Эффективность разработанной методики проводилась по анализу энергетических свойств насосного агрегата, испытанного до и после применения ПАВ.

На рисунке 6 представлены результаты экспериментальных испытаний насоса КМ 40-32-180. Увеличение коэффициента полезного действия (КПД) агрегата привело к росту его напорных характеристик. Данная закономерность позволяет предположить возможность эксплуатации насоса с уменьшенным диаметром рабочего колеса. Это, в свою очередь, позволит снизить дисковые потери и еще больше повысить КПД. Некоторое увеличение требуемой приводной мощности обусловлено существенным сокращением гидравлических потерь, что привело к росту расхода через колесо и, как следствие, к незначительному смещению оптимальной точки режима работы насоса в сторону меньших расходов.

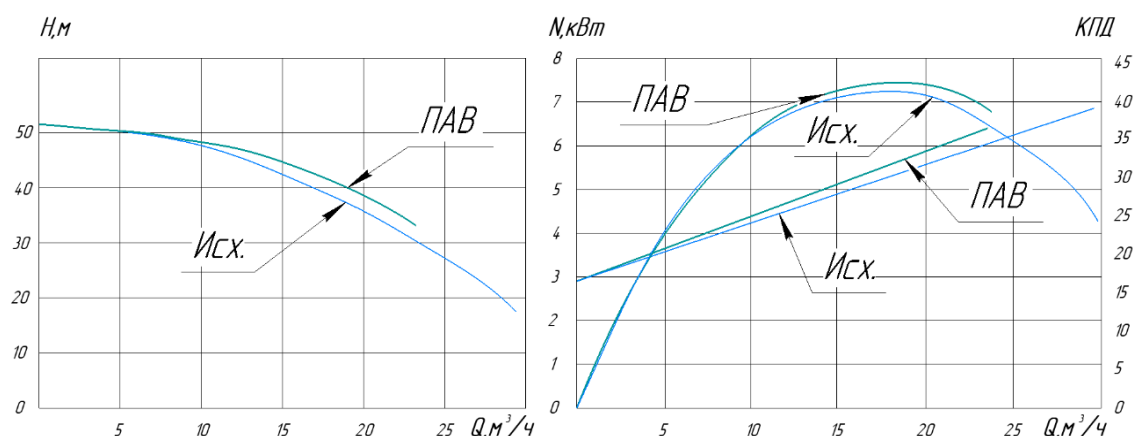


Рисунок 6. Изменение напорной, мощностной и характеристики КПД насоса КМ-40-32-180 до и после применения ПАВ -технологии

Выводы

Подтверждено повышение энергоэффективности в диапазоне от 1,5 до 2% центробежного насоса КМ 40-32-180 при создании гидрофобных покрытий на основе поверхностно-активных веществ на функциональных поверхностях проточной части. Подтверждена перспективность использования данного подхода повышения энергоэффективности центробежных насосов без изменения геометрических параметров насосного агрегата. Следует отметить, что особенно важно применение такого принципа повышения энергоэффективности на центробежных насосах, имеющих большие приводные мощности: питательные, сетевые, конденсатные и др. в энергетике, водоотливные серии ЦНС для угольной и горнорудной промышленности, в частности. Такие исследования для насосов серии ЦНС, предполагается в ближайшее время осуществить на Ясногорском насосном заводе, одном из лидеров производства насосного оборудования для угольной промышленности.

Перечень ссылок

1. Чернышев С.А. Повышение эксплуатационных качеств центробежных насосов на основе изменения гидродинамического взаимодействия рабочего потока с элементами проточной части/Диссертация на соискание степени кандидата технических наук, 2008 г., 206 с.
2. Cassie, B. D. and Baxter, S. / Trans. Faraday Soc., 1944, 40, 546–551.
3. Волков А.В., Парыгин А.Г., Поморцев М.Ю., Рыженков А.В., Хованов Г.П. Экспериментальные исследования модернизации поверхности проточной части центробежного насоса типа «Д» // «Надежность и безопасность энергетики», 2014, № 2(25). с. 26-28.
4. Волков А.В., Парыгин А.Г., Вихлянцев А.А., Григорьев С.В., Марков Д.В. Разработка технических решений совершенствования отечественных центробежных насосных агрегатов для нефтегазовой и химической промышленности // Есорimp-RUS'2018 «Инновации и энергоэффективность в насосостроении», Сборник докладов межд. науч.-тех. конф. 25 октября 2018 г., Москва, МВЦ «Крокус Экспо», 2018, с.17-27.
5. Рыженков А.В., Волков А.В., Трушин Е.С., Черепанов С.П. Изменение смачиваемости поверхности нержавеющей стали на основе лазерного текстурирования рельефа // Глобальная энергия. 2022. Т. 28, № 4. с.136–146.

УДК 669.147

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА ГОДНОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИКРОЗАВОДОВ

С.В. Куберский¹, Е.Н. Максаев²

¹ФГБОУ ВО «ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,

г. Алчевск, ЛНР

²АО «ВЫКСУНСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Показано влияние ковшевого шлака на эффективность процесса получения непрерывнолитых заготовок в условиях микрозаводов. Предложены технологические и конструктивные рекомендации для повышения выхода годного и качества стали за счет управления процессами перелива ее из технологических емкостей.

The influence of bucket slag on the efficiency of the process of obtaining continuously cast blanks in micro-factories is shown. Technological and constructive recommendations are proposed to increase the yield and quality of steel by controlling the processes of its overflow from technological tanks.

Ключевые слова: микрозавод, сталь, выход годного, качество, сталеразливочный ковш, кристаллизатор

Keywords: micro-plant, steel, yield, quality, steel ladle, mold

Эффективность предприятий черной металлургии в значительной степени определяется выходом годной стали и ее качеством. Поэтому повышение этого показателя на этапах выплавки, внепечной обработки и разливки является актуальной научно-технической задачей.

Рассматривая производство в условиях интегрированных предприятий и микрозаводов (МЗ) можно отметить, что для последних характерными особенностями являются небольшие объемы производства, эксплуатация агрегатов и оборудования небольшой единичной емкости, непрерывная разливка стали одиночными плавками или с небольшим количеством плавков в серии. Поэтому одним из путей повышения их конкурентоспособности также может быть использование инновационных решений способствующих снижению удельных потерь стали и улучшению ее качества [1].

Анализ технологической схемы производства стали в условиях МЗ позволил установить, что одной из актуальных проблем, влияющих на выход годного и качество стали являются потери стали с шлакометаллическим остатком (ШМО) в сталеразливочном (СК) и промежуточном ковшах (ПК) [2].

Исследования, проведенные при физическом моделировании в лабораторных условиях, а также на ряде действующих предприятий, показали, что в конце перелива стали из технологических емкостей при разливке одиночными плавками или последней плавки в серии, имеет место образование вихревой воронки и возможно попадание ковшевого шлака в ПК и шлака ПК в кристаллизатор.

При изучении данного явления было установлено, что более позднему образованию воронки, а, следовательно, и уменьшению ШМО ($h_{шл}$) в технологических емкостях (потерь стали со шлаком ($-m$)) способствуют следующие факторы:

- увеличение времени от окончания продувки аргоном до начала разливки (t_1) и длительности разливки (t_2), а также наличие «мягкой» продувки ($M_{пр}$) при подготовке стали к непрерывной разливке;
- уменьшение массовой скорости ($V_{мас}$) и температуры разливки ($t_{раз}$);
- кратковременное перекрытие металлопроводки при определенном остатке стали в емкости с последующим возобновлением перелива при неполном открытии канала (способствует прекращению процесса воронкообразования и затрудняет условия образования новой воронки при повторном открытии канала).

Анализ параметров внепечной обработки и разливки более 130 плавков низко- и среднеуглеродистых, перитектических низкокремнистых и легированных сталей позволил установить влияние отмеченных выше параметров на потери стали со шлаком (рис.1 и 2).

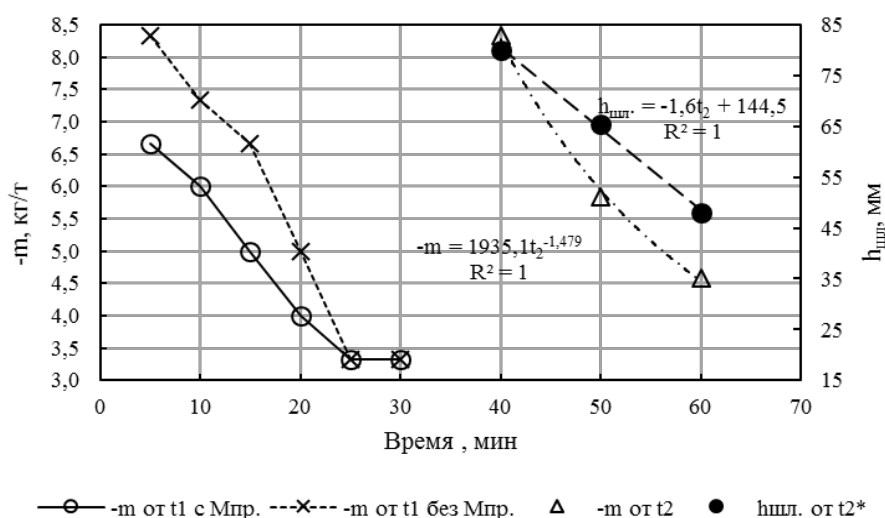
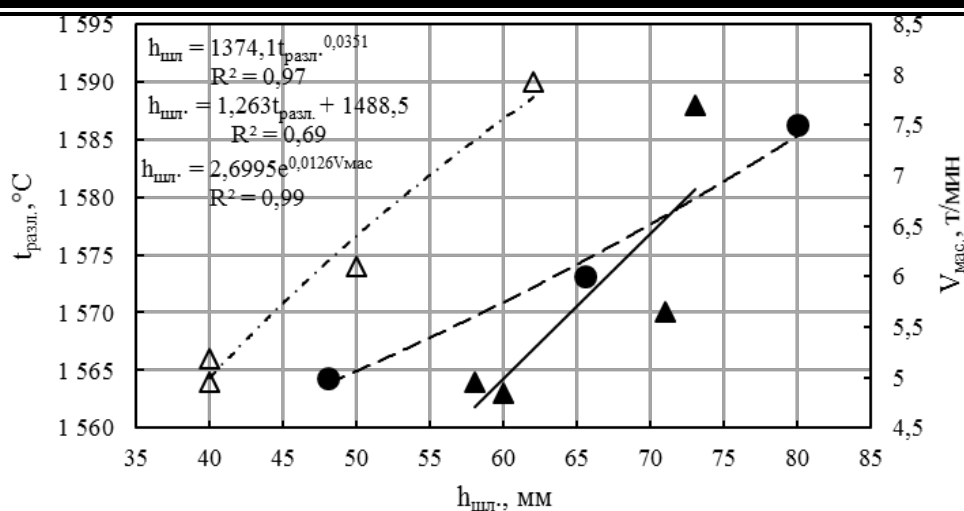


Рисунок 1 – Влияние t_1 , t_2 и вида внепечной обработки на удельные потери стали со шлаком и его остаточный уровень в ПК



△ h_{шпл} от t_{разл.} при V_{мас.}-5 ▲ h_{шпл} от t_{разл.} при V_{мас.}-6 ● h_{шпл} - V_{мас.}*

Рисунок 2 – Связь между остаточным уровнем шлака в ПК, $t_{разл.}$ и $V_{мас}$

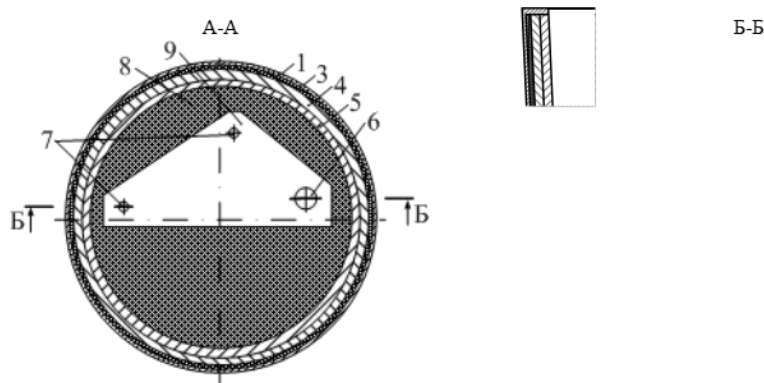
В соответствии с рисунком 1 увеличение t_1 и t_2 способствует снижению интенсивности потоков, образовавшихся при аргонной продувке и их постепенному затуханию. «Мягкая» продувка обеспечивает менее интенсивную гидродинамическую обстановку в СК. Увеличение t_1 от 5 до 20 мин позволяет сократить потери металла со шлаком на 40 % (2,67 %/мин), а применение «мягкой» продувки на 20 %. При величине t_1 более 25 мин интенсивность потоков, образовавшихся в стали, существенно уменьшается и «мягкую» продувку можно исключить из технологии.

При уменьшении $V_{мас}$ и $t_{раз}$ увеличивается время пребывания стали в ковше, что способствует снижению интенсивности образовавшихся циркуляционных потоков, а также жидкотекучести стали и шлака. Такое изменение параметров разливки обеспечивает более позднее образование воронки и затрудняет затягивание в нее шлака.

Попадание ковшевого шлака в ПК и шлака ПК в кристаллизатор приводит не только к снижению выхода годного, но и к увеличению вероятности возникновения аварийных ситуаций и снижению качества стали. Попадая в кристаллизатор этот шлак ухудшает физико-химические свойства шлакообразующей смеси (ШОС) на поверхности стального мениска в кристаллизаторе, что особенно заметно в периоды начала и окончания разливки плавки из сталеразливочного ковша. Поэтому срабатывание системы раннего обнаружения прорывов и снижение удельного расхода ШОС в результате ухудшения ее проникновения в зазор между стенкой кристаллизатора и оболочкой слитка наиболее часто наблюдается именно в эти периоды.

Использование установленных закономерностей в производственных условиях позволило увеличить выход годного в среднем на 1 кг/т.

Кроме технологических рекомендаций, для снижения потерь стали с ШМО были предложены и реализованы изменения в конструкции донной части СК за счет выполнения бетонных выступов высотой 100 мм вокруг сталеразливочного стакана и продувочных узлов (рис. 3).



- 1 – металлический корпус (броня), 2 – цапфы; 3, 4, 5 – изоляционный, арматурный, рабочий слои футеровки; 6 – разливочный стакан с шиберным затвором, 7 – продувочные пробки; 8 – выступ из огнеупорного бетона, 9 – шаблон

Рисунок 3 – Схема СК с изменённой конструкцией донной части
(А-А поперечное и Б-Б продольное сечение)

Такое решение позволило увеличить высоту слоя металла над разливочными стаканами, что обеспечивает образование воронки при значительно меньшем остатке стали в ковше [3]. Увеличение уровня налива при таких изменениях в футеровке днища составляло не более 50 мм, а доля скрапа в ШМО, кантуемом в чаши, уменьшилось на 1,7-3 кг/т.

Выводы.

В результате проведенных исследований было установлено, что для повышения выхода годного и качества стали необходимо:

- по возможности снижать массовую скорость разливки и температуру разливаемой стали, а также увеличивать интервал времени от окончания аргонной продувки до начала разливки и длительность разливки;
- «мягкая» продувка позитивно влияет на рассматриваемые параметры. Однако при большом интервале времени от окончания аргонной продувки до начала разливки «мягкую» продувку можно исключить из технологии;
- при появлении ковшевого шлака в металлопроводе кратковременно прекращать перелив стали из СК в ПК с последующим его возобновлением при не полном открытии канала;
- использовать новую конструкцию футеровки днища СК.

Перечень ссылок

1. Фокин И.В. Структура потерь металла в процессе выплавки нержавеющей стали / И.В. Фокин, Гудим Ю.А. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия» 2013, том 13, № 2. С. 33-37.
2. Куберский С.В. Повышение выхода годной стали при переливе ее из сталеразливочного ковша / С.В. Куберский, М.Ю. Проценко, В.Д. Грязнов, В.В. Семенов // Сборник научных трудов. Вып. 19 (62). Алчевск: ДонГТУ. 2020. С. 45-51.
3. Куберский С.В. Усовершенствование конструкции футеровки днища сталеразливочного ковша для повышения качества и выхода годной непрерывнолитой стали / С.В. Куберский, Е.Н. Максаев, С.В. Семирягин, А.В. Головчанский // Сбор. Науч. Трудов. Современные огнеупоры и технологии в производстве стали. XIX-й международной научно-технической конференции, «Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях». – Донецк: Ноулидж. 2013. С. 99-104.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И НЕЙРОСЕТЕЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ДИСЦИПЛИН

Р.В. Коршаков, Т.П. Мищенко
ФГБОУВО «Донецкий национальный
технический университет»

В статье рассмотрена технология и доступные программные инструменты для организации практического использования искусственного интеллекта и нейросетей в образовательном процессе при изучении наземных транспортно-технологических комплексов.

The article examines the technology and available software tools for organizing the practical use of artificial intelligence and neural networks in the educational process when studying ground-based transport and technological complexes.

Ключевые слова: искусственный интеллект (ИИ), нейросеть, образование, научный текст, статья

Keywords: *artificial intelligence (AI), neural network, education, scientific text, article*

В последние годы искусственный интеллект (ИИ) стал неотъемлемой частью различных сфер нашей жизни, включая науку, образование и производство. Одной из значительных областей применения ИИ является использование его в написании научных работ студентов, который играет ключевую роль в обеспечении образовательного процесса в целом.

Написание любого научного труда – серьезная работа, которая требует от автора много сил, энергии, терпения и, конечно же, углубленных знаний в изучаемой области. На данный момент хорошо, что развиваются нейросети, которые могут помочь высвободить время, ресурсы для творческих задач.

Использование искусственного интеллекта для написания научных текстов предоставляет ряд преимуществ. Например, ИИ может значительно ускорить процесс написания, позволяя исследователям больше времени уделять исследованию. А также, такие инструменты могут помочь избежать грамматических ошибок и предложить более точные формулировки, что особенно важно при публикации результатов. Кроме того, некоторые модели могут поддерживать интеграцию с библиотеками и базами данных, что упрощает процесс поиска и цитирования необходимых источников. Однако нейросеть не выдает полностью готовые исследовательские работы с нуля и до конца. Она выступает в качестве помощника, который упрощает рутинные процессы, помогает генерировать идеи, направления возможных

исследований, улучшает содержание текста. Поэтому необходимо определить качественные инструменты и усвоить одну простую истину, что ИИ – это не панацея, а помощник и полностью полагаться на его результат не стоит ни в коем случае.

Целью данной работы является выявление и систематизация доступных к использованию инструментов, позволяющих организовать работу с ИИ в образовательном процессе для написания научных работ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Сформулировать требования к написанию научного текста с помощью ИИ.
2. Сформировать перечень необходимых ресурсов для организации использования ИИ.
3. Проанализировать существующие доступные средства для использования ИИ в написании научных работ.

Особенностью информационных технологий является необходимость постоянного и непрерывного обновления знаний и навыков. Знание основ информатики и получение навыков использования современных компьютерных технологий становится обязательным требованием для большинства специалистов в любой отрасли образования, промышленности, сельского хозяйства.

Высшее образование, как и любое другое, должно соответствовать интересам и потребностям общества, следовательно, одной из задач образования является профессиональная подготовка специалистов, направленная на потребности общества. Для современного преподавателя любого профиля необходимость владеть навыками пользования интернет-технологиями, уметь организовать процесс подачи материала с помощью мультимедийных и компьютерных средств является одним из основных требований к квалификации. Соответственно, в настоящее время необходимо каждому преподавателю совершенствоваться и обязательно владеть всеми предлагаемыми ресурсами практически в совершенстве, в том числе уметь пользоваться нейросетями для написания и проверки научных работ студентов.

Работа нейросетей заключается в следующем:

1. Ускорение генерации текста и идей. ИИ способен быстро генерировать текст и идеи для научной статьи и анализировать множество источников информации, отбирать наиболее значимые данные и структурировать их в соответствии с логикой исследования. Это особенно актуально для научных статей, где необходимо учитывать различные мнения и исследования, что способствует более глубокому анализу рассматриваемой темы.

2. Эффективный поиск и анализ научных статей. Современные нейросети значительно упрощают поиск релевантных научных статей. Благодаря продвинутым алгоритмам машинного обучения, ИИ может обрабатывать колоссальные объемы данных, фильтруя информацию по ключевым словам, темам, авторам и другим критериям. Более того, нейросети способны анализировать содержание найденных статей, извлекают ключевые идеи и формируют сравнительный анализ выводов различных исследований, что делает их незаменимыми помощниками для студентов и исследователей.

3. Автоматическая проверка грамматики и стиля. Качество научного текста критически важно, и здесь нейросети могут не только распознавать, но и исправлять ошибки на уровне орфографии и стиля, а также выявлять нарушения логической структуры. Это позволяет сосредоточиться на содержании работы, не отвлекаясь на технические детали.

4. Адаптация содержания под требования публикации. Способность анализировать большие объемы текстов и подстраивать научные статьи под конкретные требования и стандарты, установленные в различных учебных заведениях повышает качество работы и увеличивает вероятность успешной публикации в авторитетных научных журналах, что важно для карьерного роста исследователя.

5. Эффективное структурирование научной статьи. Инструменты, основанные на искусственном интеллекте, предлагают оптимальные заголовки и подзаголовки, необходимые разделы. Они даже способны оценить логичность и последовательность аргументации, что особенно ценно для начинающих студентов.

Для того чтобы написать научный текст с помощью ИИ необходимо понимать целевую аудиторию, ведь он предназначен для специалистов в определенной области, поэтому важно использование терминов изучаемой сферы. Чтобы извлечь максимальную пользу из этого инструмента, необходимо четко следовать ряду рекомендаций:

1. Ясность запросов и целей. Формулируйте конкретные и четкие вопросы, соответствующие вашей исследовательской задаче, чтобы получить наиболее точные данные.

2. Проверка данных и фактов. Обязательно используйте дополнительные источники для подтверждения точности и актуальности предложенных фактов, так как некорректные данные могут существенно повредить вашей научной репутации и снизить ценность проделанной работы.

3. Настройка параметров генерации. Не забывайте о важности настройки параметров нейросети в соответствии с академическим стилем. Укажите предпочтительные форматы, стилистические особенности и область исследования, чтобы ваш текст соответствовал требованиям научной статьи.

4. Осознанное использование нейросети. Нейросеть — это мощный инструмент, который требует осознанного подхода. Всегда учитывайте контекст и старайтесь определить, насколько генерируемая информация соответствует вашим ожиданиям и требованиям к научной работе. Это позволит избежать ошибок и недоразумений в процессе написания.

5. Частичное использование нейросети. Наиболее эффективно применять нейросеть для работы над отдельными аспектами статьи, таких как генерация идей, обработка данных или написание отдельных разделов. Такой подход позволяет сохранить уникальный авторский стиль и критическое мышление, что играет ключевую роль в создании полноценной научной статьи.

Правильный выбор инструментов ИИ зависит от целей и требований к тексту. Самое простое: сравнить несколько вариантов и выбрать тот, что более подходит для решения поставленных задач.

1) Kampus. С его помощью можно написать курсовую или реферат, подготовить индивидуальный проект, создать научную статью или даже решить сложные математические задачи, включая высшую математику. Кампус.ai предоставляет не только точные и структурированные ответы, но и помогает углубить понимание темы.

2) AiWriteArt. Этот сервис помогает создавать уникальные и креативные материалы, включая эссе, статьи, рекламные тексты и многое другое. Он поддерживает работу на нескольких языках, что делает его полезным не только для учебы, но и для творчества.

3) StudGPT – сервис, который специализируется на помощи в решении учебных задач и обработке текстовой информации. Он подходит для быстрого анализа данных, составления отчетов, написания текстов и решения практических заданий. Полезен для студентов технических, экономических и естественнонаучных направлений.

4) RuGPT – русскоязычная нейросеть, способная генерировать статьи, рефераты, доклады, а также анализировать данные. Этот инструмент выделяется точностью и удобством работы, что делает его популярным среди студентов и профессионалов.

5) ChatGPT – универсальный чат-бот на базе GPT-4, который способен помочь в написании текстов, анализе данных, переводах и решении повседневных задач.

6) Gemini – разработка от Google, которая объединяет мощь языковых моделей и функциональность инструментов анализа данных. Подходит для сложных научных и образовательных проектов.

7) DeepL – один из переводчиков, который обеспечивает точные переводы на множество языков. Он полезен для подготовки текстов, написанных на иностранных языках, или при изучении новых языков.

8) GigaChat – бесплатная нейросеть от Сбербанка. Взаимодействует с пользователем в формате диалога. Генерирует идеи, изображения, на любые темы, отвечает на все вопросы пользователей. Поддерживает 2 языка: русский и английский. Многофункциональна, позволяет решать несколько задач в одном месте, не обращаясь за помощью к другим. Разработчики предлагают удачные примеры промтов для генерации контента, картинок и так далее.

9) НейроТекстер – инструмент для написания научной работы. Генерирует уникальные идеи, статьи, научные работы и так далее, оценивает качество полученных текстов по показателям: уникальность, читаемость и так далее. Исправляет ошибки, улучшает структуру текста, заменяет отдельные слова на синонимы для большей выразительности.

10) Wordify – нейросеть для написания научных статей бесплатно, не только генерирует тексты, но и предлагает инструменты для редактирования, быстро находит ошибки и повышает уникальность материалов без потери основного смысла. Имеет понятный интерфейс, бесплатный тариф с ограничением лимита в 100 000 символов.

11) YandexGPT 2 – инструмент от Яндекса, подходит для генерации научных текстов. Сервис многофункциональный: генерировать тексты на любые темы, выделять главное, отвечает на вопросы по содержанию текста, генерирует идеи, стилизует текст под заданные пользователем различные стили, структурирует информацию в виде таблиц и другое. Обращаться можно как с текстовым запросом, так и с голосовым. Сервис работает без ограничений.

12) Arihost – платформа, которая изначально была разработана для работы с аудиофайлами. Сегодня работает с генерацией текста, поддерживает более 70 языков, получение итогов в считанные минуты. Доступ бесплатный, регистрация не требуется.

13) СоруMonkey – русскоязычная нейросеть, которая предоставляет функционал для работы с текстом. Простой интерфейс, который обеспечивает удобство использования системы. Доступен как в платной, так и бесплатной версии.

14) Rytr.me – помощник для написания научных статей, рефератов. Отличается универсальностью и удобством использования. Поддерживает большое количество языков. Используя передовые алгоритмы, платформа помогает писать генерировать контент на любые темы. Нейросеть бесплатная, требует регистрацию. В месяц доступно 10 000 символов.

15) Smodin – идеальная нейросеть для написания дипломов, рефератов, статей. Платформа предлагает набор инструментов для генерации идей, улучшения текста, включая проверку на уникальность, рерайт текста,

перевод на большое количество языков. Пользоваться можно бесплатно, только с ограничениями. Есть платные тарифы.

16) Hypotenuse AI – мощный генератор и помощник в написании текстов. Помогает создать контент и изображения на любую тему. Также предлагает инструменты для редактирования, улучшает содержание текста, перефразирует. Обеспечивает качество и оригинальность контента. Позволяет работать более, чем в 25 языках. На неделю платформа дает бесплатное пользование.

17) Robotext (рисунок) – русскоязычная платформа для онлайн работы с текстами. Выполняет задачи: рерайт, генерирует идеи, тексты, сокращает материалы. При генерации уникальность контента составляет от 70 до 100%. Сервис быстрый, позволяет генерировать около 1000 символов в минуту. Сервис бесплатный. Тексты правомерно можно использовать в коммерческих целях.

Вот еще список сервисов, которые имеют потенциал для дальнейшего развития, и, возможно, в будущем они станут более удобными и функциональными, но некоторые из них находятся на стадии доработки, и их функциональность может быть ограничена: GPT-Tools, GoGPT, Study24, HeyBro, AI.Mitup. Но, скорее всего, на этом список не заканчивается даже сегодня, а в дальнейшем он будет пополняться более усовершенствованными и конкурентноспособными версиями.

Таким образом, в целях дальнейшей модернизации системы высшего образования в нашем вузе, следует более активно применять и развивать все позитивные, качественные, эффективные наработки в плане использования современных методик и технологий электронных форм обучения. Правильное использование нейросетей в процессе написания научных статей не только упрощает работу исследователей, но и значительно улучшает качество научных публикаций. Сегодня, когда исследовательская деятельность требует быстро реагировать на новые вызовы и тенденции, искусственный интеллект становится мощным инструментом для тех, кто стремится к достижению высоких результатов в науке.

Перечень ссылок

1. Дистанционное обучение в современном обществе. / Баганова З.А., Арипова М.М. / Наука: общество, экономика, право. Махачкала, ООО «Институт развития образования и консалтинга», 2019. – № 4. – С. 358-366.
2. Мищенко, Т.П. Технология организации и инструменты дистанционного обучения в образовательном процессе преподавателя горно-транспортных дисциплин / Т.П.Мищенко, А.Я.Грудачев, Е.Р.Алексеев // Современное состояние и пути совершенствования образовательного процесса: Материалы VIII Республиканской научно-методической конференции, г.Донецк, 03 февраля 2021 года / ГОУВПО «ДОННТУ». – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2021. – с. 152-160.

**Инновационные технологии проектирования, изготовления и
эксплуатации промышленных машин и агрегатов**

3. Электронный ресурс.URL:https://www.work5.ru/article/nejroseti_dlja_napisanija_nauchnoj_raboty_sovety_i_podborka_servisov_dlja_sostavlenija_nauchnoj_raboty (Дата обращения: 22.04.2025 г.)
4. Электронный ресурс.URL: <https://zachnik.ru/blog/kak-napisat-nauchnuyu-statyu-s-pomoschyu-nejroseti-luchshie-ii-servisy/> (Дата обращения: 25.04.2025 г.)
5. Электронный ресурс.URL: <https://dtf.ru/top-smm/3491230-napisanie-teksta-v-nauchnom-stile-top-16-ii-besplatno-i-platno-v-2025-godu> (Дата обращения: 25.04.2025 г.)

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ
ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО УДАЛЕНИЮ
ОГНЕУПОРНОГО СТАКАНА ИЗ ГНЕЗДОВОГО БЛОКА
СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША**

С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, И.С. Погорелов
ФГБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР
ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», г. Москва, РФ

Аннотация. Приведено описание конструкций испытательных стендов для проведения лабораторного эксперимента по извлечению огнеупорного стакана из гнездового блока сталеразливочного ковша, оборудованного шиберным затвором. Полученные результаты будут использованы для обоснования силовых параметров манипуляторов, применяемых при обслуживании ковшовых затворов.

Annotation. A description of the design of test benches for a laboratory experiment on the removal of a refractory cup from the socket block of a steel-pouring ladle equipped with a slide gate is given. The results obtained will be used to substantiate the force parameters of manipulators used in the maintenance of bucket valves.

Ключевые слова: сталеразливочный ковш, кассетный затвор, огнеупорный стакан, манипулятор.

Keywords: steel pouring ladle, cassette gate, refractory cutter, manipulator.

Одной из операций по обслуживанию сталеразливочного ковша, оборудованного шиберным затвором, является периодическая замена отработанного огнеупорного стакана из гнездового блока [1]. С целью облегчения условий труда персонала, обслуживающего сталеразливочные ковши и их шиберные затворы, начаты работы по созданию комплекса вспомогательного оборудования отечественного производства [2]. С учетом современных концептуальных подходов при создании прогрессивных агрегатов и устройств [3] и имеющегося опыта [4], авторами были предложены конструкция и методика расчета энергосиловых параметров модернизированного манипулятора для механизированной замены огнеупорных разливочных стаканов, схематично показанная на рис. 1. Он включает основание в виде квадратной металлической пластины с цилиндрической тумбой 2, удерживающей опорный шарикоподшипник 3 и жестко закрепленный соосно с ним вертикальный стержень 4. На подшипник опирается диск 5 с наружным зубчатым венцом, несущий четырехгранную пустотелую колонну 7, центрируемую относительно стержня 4 и имеющую

возможность вращения на нем совместно с диском благодаря наличию двух подшипников скольжения 6. Вращательное движение

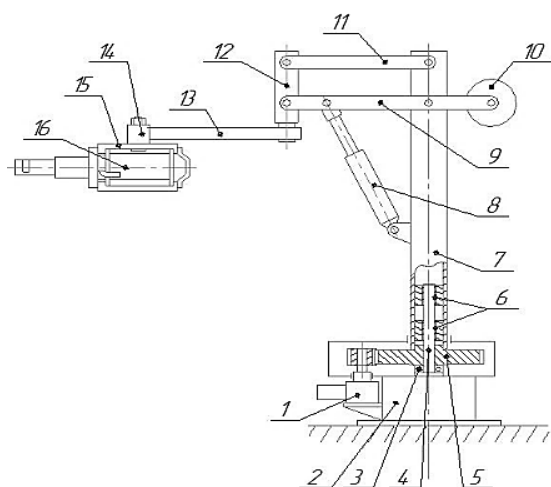


Рисунок 1

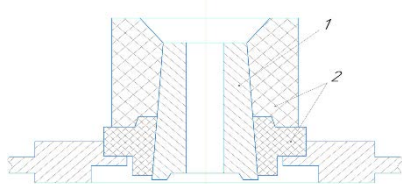
Рисунок 1 - Модернизированный манипулятор для обслуживания кассетных ковшовых затворов

колонны совместно с диском обеспечивается приводом 1, включающим гидродвигатель, понижающий редуктор с закрепленной на хвостовике его тихоходного вала зубчатой шестерней, которая находится в зацеплении с венцом диска 5. На верхней части пустотелой колонны с помощью шарниров закреплены две пары несущих рычагов 9 и 11, удерживающих на осях вертикальную подшипниковую обойму 12 и образующих совместно с ней параллелограммный механизм,

позволяющий реализовать ее плоскопараллельное перемещение в вертикальной плоскости.

Поворот рычагов 9 и 11 на требуемый угол обеспечивает гидроцилиндр 8, нижняя часть корпуса которого посредством проушины шарнирно закреплена на колонне, а шток с помощью оси связан с нижней парой рычагов 9 параллелограммного механизма. Для снижения нагрузки, преодолеваемой гидроцилиндром 8, рычажный механизм манипулятора уравновешен за счет контргруза 10, закрепленного на горизонтальной оси, которая соединяет задние концы нижней пары рычагов 9. В вертикальной обойме 12 в двух подшипниках скольжения установлена ось, к нижней части которой жестко прикреплен задний конец консоли 13. На своем переднем конце консоль несет шарнирную опору 14 с поворотной осью, удерживающей нижней частью подвеску 15, внутри которой размещен гидравлический механизм 16, предназначенный для извлечения отработанного разливочного стакана из гнездового блока ковша [5].

Для получения экспериментальных значений силы, требуемой для извлечения стакана из гнездового блока, провели лабораторный эксперимент. С этой целью, в соответствии со стандартной схемой размещения разливочного стакана в футеровке днища ковша (рис. 2 а), выбрали комплект огнеупорных изделий (фото на рис. 2 б), включавший разливочный стакан, верхний и нижний гнездовые кирпичи. Указанный комплект соответствовал размерам сталевыпускного узла 150-тонного разливочного ковша.



а

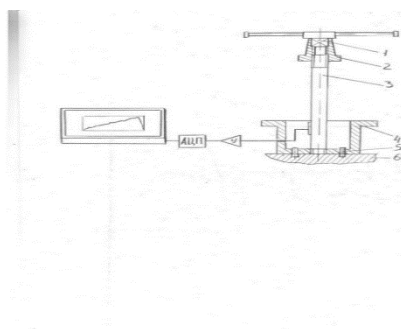


б

Рисунок 2 – Схема оформления гнездового блока ковша (*а*) и подготовленный к эксперименту комплект огнеупорных изделий (*б*): 1 – разливочный стакан; 2 – составной гнездовой кирпич.

С соблюдением требований технических инструкций, действующих в настоящее время в сталеплавильных цехах отечественных металлургических предприятий, осуществили сборку гнездового блока. Для этого на очищенную коническую поверхность разливочного стакана нанесли равномерный слой затворенной на воде огнеупорной массы, включавшей в своем составе 75 % мертеля и 25 % песка. Затем стакан запрессовали в полость соединенных между собой верхнего и нижнего гнездовых кирпичей, после чего собранный огнеупорный блок сушили в нагревательной электрической печи при температуре 200° С в течение 2 часов.

Практические данные о значении силы, требуемой для извлечения разливочного стакана из полости гнездовых кирпичей, получили на испытательном стенде (рис. 3).



а



б

Рисунок 3 – Схема (*а*) и внешний вид (*б*) испытательного стенда

Он включал силовой и контрольно-измерительный блоки. В состав силового блока входит опорный цилиндр 4, к днищу которого посредством резьбового соединения крепится нижний конец вертикально расположенного стержня 3, имеющего верхнюю резьбовую часть. На эту часть навинчена профилированная гайка 2 с посадочным местом для хвостовика рычага 1.

Контрольно-измерительный блок содержит тензорезисторный преобразователь, функцию которого выполняют наклеенные на поверхность стержня два рабочих тензодатчика, ориентированные вдоль направления

действия нагрузки, и два компенсационных, расположенные перпендикулярно рабочим. Датчики соединены по мостовой схеме, подключённой с помощью разъема и экранированного кабеля к входу усилителя, электрически связанного с аналого-цифровым преобразователем, выходной сигнал с которого подается в системный блок компьютера для обработки и последующего визуального представления.

Тарировку подключенного к усилителю тензорезисторного преобразователя провели путем последовательного дискретного силового нагружения стержня винтовым механизмом, которое контролировали по показаниям динамометра, и фиксации соответствующих амплитуд выходного сигнала в кодах АЦП.

По завершении тарировки тензорезисторного преобразователя стержень нижним концом ввинчивали в резьбовое отверстие днища опорного цилиндра и пропускали через отверстие в его корпусе соединительный экранированный кабель тензорезисторного преобразователя. Затем соосно со стержнем на опорном цилиндре размещали ранее собранный огнеупорный блок, на верхнюю торцевую поверхность огнеупорного разливочного стакана укладывали стальную шайбу, на резьбовой конец стержня навинчивали до упора в шайбу профилированную гайку и в ее посадочное место помещали стержень рычага (фото на рис. 5). Измерение значения силы, при котором происходил сдвиг разливочного огнеупорного стакана относительно комплекта гнездовых кирпичей, провели в следующей последовательности. Осуществляли запуск измерительной системы и с помощью рычага профилированную гайку проворачивали на верхнем резьбовом хвостовике стержня, вызывая тем самым сдвигающую вертикальную нагрузку на верхнюю торцевую часть огнеупорного разливочного стакана. Сила реакции вызывала в стержне пропорциональные ей деформации растяжения, под действием которых изменялось сопротивление рабочих тензодатчиков моста сопротивлений и с его выхода снимался электрический сигнал, подававшийся на вход усилителя. В момент сдвига огнеупорного разливочного стакана вниз относительно гнездовых кирпичей останавливали запись сигнала и выводили его визуальное изображение на экран монитора (рис. 6). Максимальное значение в кодах аналого-цифрового преобразователя зарегистрированного сигнала переводили с использованием графика тарировочной зависимости в численное значение измеренной силы, составившее 42000 Н.

Выводы

Результаты проведенных экспериментальных исследований могут быть использованы при расчете и конструировании манипулятора, предназначенного для механизации работ, связанных с обслуживанием ковшовых шиберных затворов.



Рисунок 5 – Размещение огнеупорного блока на испытательном стенде

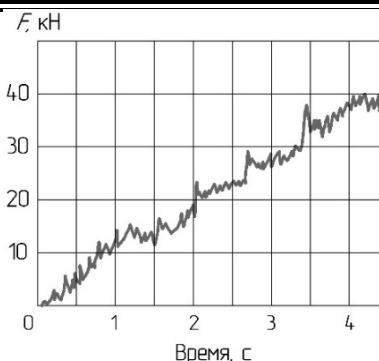


Рисунок 6 – Сигнал, зарегистрированный при контроле силы страгивания разливочного стакана при его извлечении из гнездового блока

Перечень ссылок

1. Отечественные системы разливки стали и огнеупорные комплектующие производства НПП «Вулкан-ТМ» / В.И. Золотухин [и др.] // Новые огнеупоры.- 2015.- № 10.- С. 13 - 17.
2. Использование робота для обслуживания шиберных затворов разливных ковшей / В. Колла [и др.] // Черные металлы.- 2020.- № 3.- С. 32 – 38.
3. Расчет и конструирование манипуляционной системы для обслуживания кассетных затворов сталеразливочных ковшей / С.П. Еронько [и др.] // Metallургические процессы и оборудование.- 2010.- № 3 (21).- С. 26 – 33.
4. Точилкин В.В. Создание агрегатов и устройств технологических машин: монография / В.В. Точилкин, О.А. Филатова.- Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020.- 136 с.
5. Модернизированный манипулятор для обслуживания кассетных затворов сталеразливочных ковшей / С.П. Еронько [и др.] // Metallург.- 2022.- № 6.- С. 90 – 95.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРИВОДА ВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ ДЧГ 900×700 ПРИ МНОГОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗКАХ

Р.С. Мележик, Д.А. Власенко

¹ФГБОУ ВО «ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ», г. Алчевск, ЛНР

²Независимый эксперт, г. Алчевск, ЛНР

Аннотация. Проведено исследование усталостной прочности усовершенствованного привода валковой дробилки при многоцикловых нагрузках. Полученные результаты математического моделирования, осуществленного с помощью метода конечных элементов, указывают на то, что предлагаемая муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа обеспечивает необходимое условие надежности при минимальном значении коэффициента нагрузки 1,88.

Annotation. A research on the fatigue strength of an improved roller crusher drive under multi-cycle loads has been carried out. The obtained results of mathematical modeling carried out using the finite element method indicate that the proposed finger coupling with an elastic disk-type element provides the necessary reliability condition with a minimum load factor of 1,88.

Ключевые слова: четырехвалковая дробилка, привод, муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа, надежность, многоцикловые нагрузки, усталостная прочность.

Keywords: four-roll crusher, drive, finger coupling with elastic disc-type element, reliability, multi-cycle loads, fatigue strength.

Надежность является основой для определения работоспособности, долговечности, безотказности и ремонтпригодности [1]. Повышение данной характеристики зачастую требует значительных трудовых и экономических затрат (сбор данных о существующих проблемах, поиск решений для устранения недостатков, внедрение технических решений, сбор и анализ данных о его работе, доработка недостатков (если это необходимо)). Однако, при достижении необходимого уровня затраты обычно оправдываются. С уверенностью можно сказать, что надежность оборудования зависит от точности проектирования, условий эксплуатации и регулярного технического обслуживания отдельных узлов и механизмов.

В агломерационном производстве для измельчения твердого топлива используют валковые дробилки, которые, несмотря на свои преимущества, имеют и недостатки, негативно сказывающиеся на работе оборудования. Так

применяемая в приводе зубчатая муфта (МЗ) не способна в полной мере демпфировать нагрузки, передающиеся от рабочих органов в процессе работы, из-за чего снижается срок службы отдельных узлов и деталей машины, и возникают простои оборудования, связанные с его техническим обслуживанием.

Для повышения надежности оборудования и снижения влияния негативного воздействия ударных нагрузок на привод предлагается использовать муфту пальцевую с эластичным элементом дискового типа (МПЭЭДТ [2]). Проводимые ранее исследования [3, 4] подтверждают, что предлагаемая муфта повышает работоспособность дробильного агрегата и значительно снижает влияние динамических нагрузок на детали и узлы машины.

Изучение усталостной прочности привода валковой дробилки ДЧГ 900×700 осуществлялись с помощью метода конечных элементов, реализованного с помощью программного комплекса SolidWorks «Simulation» [5], поскольку он позволяет отойти от аналитического расчета, обладающего сложным математическим аппаратом для данного типа муфт [2].

В ходе исследования были определены напряжения в критических сечениях, а также проведено прогнозирование ресурса дробилки при многоцикловых нагрузках. Для расчета были использованы разработанные в предыдущих работах [3, 4] твердотельные модели всех узлов и механизмов ДЧГ 900×700, созданные в программном комплексе SolidWorks согласно конструкторской документации в масштабе один к одному. Каждой твердотельной модели выбран соответствующий реальным прототипам материал.

Разработанные модели отдельных элементов привода собирались в сборку учетом заданных требований по их сопряжению и посадкам. Модель дробилки жестко крепилась у основания редуктора с помощью крепления «Зафиксированная геометрия», подшипниковым опорам вала задавалась одна степень свободы (крепление «Ролик/ползун») с возможностью перемещаться перпендикулярно оси вала.

В работе выполнен динамический расчет привода четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 с МПЭЭДТ при суммарной нагрузке на корпуса подшипников вала 156000 Н [6] с вариацией со временем «Кривая»; крутящий момент, прикладываемый к валу редуктора, составил 6890 Нм [6]; при выборе вышеуказанных значений также учитывались 130 % перегрузки дробильной машины, вызванные нестабильностью подачи материала в рабочее пространство дробильной машины и неравномерным распределением его по рабочей поверхности валков [6].

В результате моделирования динамического нагружения получена эпюра напряжений (рис. 1), возникающих в приводе валковой дробилки, на

основании которой установлено, что максимальные напряжения составляют 56,7 МПа (что не превышает предел прочности 1030 МПа и выносливости 600 МПа для стали 45Х).

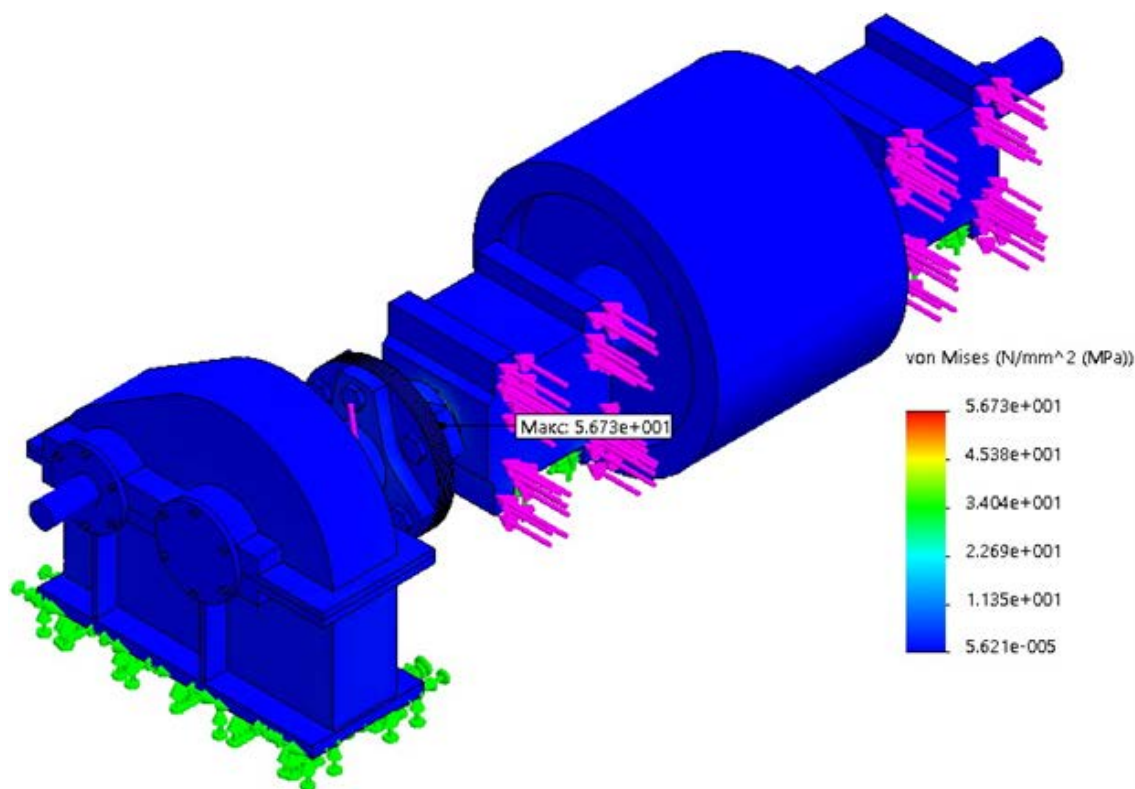


Рисунок 1 – Эпюра напряжений в приводе валковой дробилки

Для более полного прочностного анализа привода валковой дробилки в программном комплексе SolidWorks дополнительно проведено исследование на усталостную прочность (рис. 2), поскольку динамические исследования не учитывают влияние различных факторов, возникающих при многоцикловых нагрузках. Количество циклов нагружения составило $N_{ц} = 1 \times 10^6$, а нагрузка задавалась аналогично динамическому исследованию с асимметрией амплитуды $A_a = -1$.

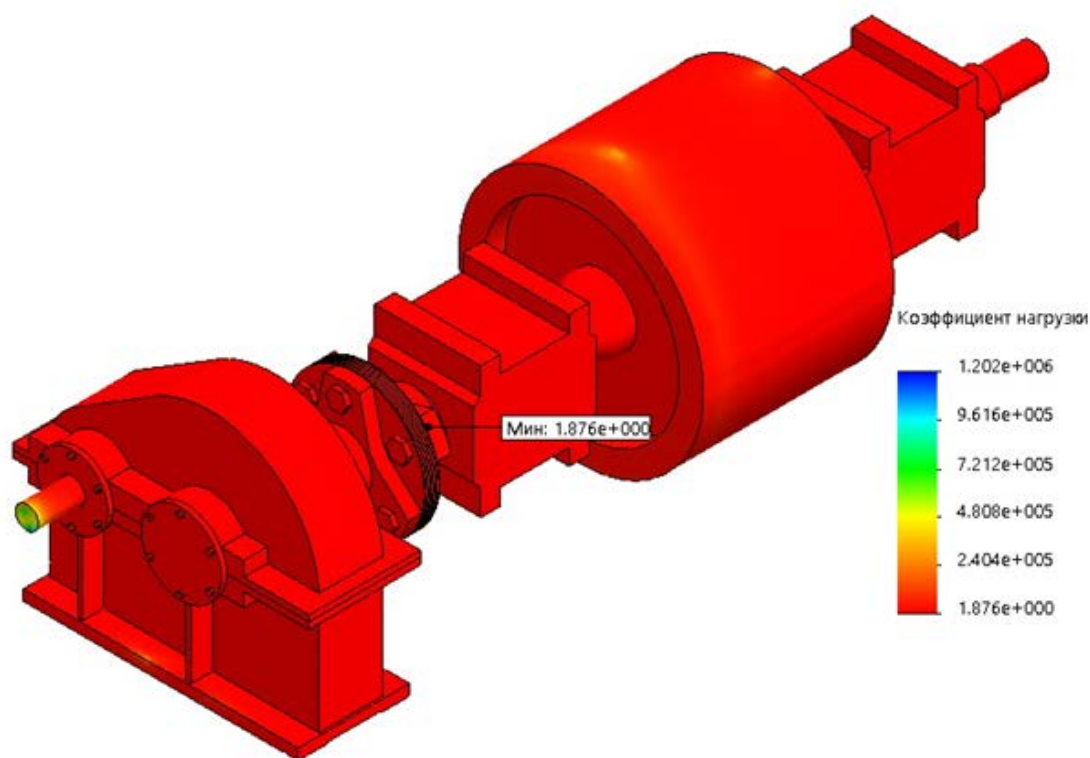


Рисунок 2 – Распределение коэффициентов нагрузки, при которых происходит разрушение

По результатам моделирования было установлено, что минимальное значение коэффициента нагрузки, при котором происходит разрушение объекта, составляет 1,88, в то время как на некоторых участках привода это значение значительно выше. Таким образом, можно сделать вывод, что модернизированный привод валковой дробилки соответствует требованиям надежности в условиях работы агломерационного цеха Алчевского металлургического комбината ООО «ЮГМК».

Выводы. Проведено исследование усталостной прочности привода валковой дробилки с использованием динамического анализа в программном комплексе SolidWorks «Simulation». Минимальный коэффициент нагрузки составляет 1,88, что в свою очередь подтверждает эффективность использования муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа в приводе валковой дробилки.

Список литературы

1. Birolini A. Reliability Engineering: Theory and Practice / A. Birolini. – Eighth edition. – Springer Berlin, Heidelberg, 2017. – 651 p. – ISBN: 978-3-662-54208-8. – EDN QOEGQW.
2. Пат. № 210721 РФ, МПК F16D 3/50. Муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа / Р.С. Мележик, Д.А. Власенко, А.П. Жильцов, Я.Э. Крупнов; заявитель и патентообладатель Липецкий гос. техн. ун-т. – № 2021113946; заявл.17.05.2021; опубл. 28.04.2022; бюл. № 20. – EDN QMPBJF.
3. Мележик Р.С. Моделирование нагрузки и обоснование конструктивных параметров упругой пальцевой муфты с эластичным элементом дискового типа /

Р.С. Мележик, Д.А. Власенко // Горные науки и технологии, 2021. – № 6 (2). – С. 128–135. – <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-128-135>. – EDN NIKOKS.

4. Жильцов А.П. Обоснование параметров и промышленное освоение упругой пальцевой муфты с эластичным элементом дискового типа в приводе четырехвалковой дробилки / А.П. Жильцов, Р.С. Мележик, Д.А. Власенко, А.А. Харитоненко, А.В. Бочаров // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2022. – № 12 (753). С. 3–13. – <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2022-12-3-13>. – EDN XUIZJF.

5. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-94074-586-0. – EDN RAZDJP.

6. Власенко Д.А. Комплексный подход к улучшению качества твердого топлива в агломерационном производстве за счет усовершенствования четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 / Д.А. Власенко, А.П. Жильцов, Р.С. Мележик, А.А. Харитоненко // Черные металлы, 2024. – № 1. – С. 32–37. – <https://doi.org/10.17580/chm.2024.01.05>. – EDN: PLQFGA.

КОНСТРУКЦИЯ ЦИФРОВОГО КОПИРА

В.Н. Михайлов.

КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.Н. ТУПОЛЕВА – КАИ
г. Казань, республика Татарстан

Аннотация. В статье представлена возможность создания простой цифровой копии двухмерной фигуры, разработанная с использованием конструкции копира. Система позволит промышленности Донбасса получать траекторию движения датчика копира в двухмерной плоскости с возможностью редактирования цифрового образа в дальнейшем.

Annotation. The article provides the possibility of creating a simple digital copy of a two-dimensional figure created using copier designs. The consumer system allows obtaining the trajectory of the copier sensor in a two-dimensional plane with a deviation of the change in the angle of view in perspective.

Ключевые слова: цифровой копир, оптический датчик, оцифровка, микроконтроллер.

Keywords: digital copier, optical sensor, digitization, microcontroller.

Современные технологии оцифровки графической информации требуют высокой точности и удобства использования. Устройство "Цифровой копир" разработано для решения этой задачи, позволяя преобразовывать физические объекты в цифровые модели с минимальными погрешностями. Основная цель проекта — создать компактное, энергоэффективное и простое в эксплуатации устройство, которое может быть использовано в образовательных, промышленных и творческих целях. В статье рассматривается конструкция и принцип работы устройства "Цифровой копир", предназначенного для оцифровки графической информации с высокой точностью. Описаны основные компоненты устройства, их взаимодействие, а также преимущества предложенного решения. Устройство сочетает механические и электронные элементы, обеспечивая простоту использования и высокую точность измерений [1].

Цифровой копир, как измерительно-преобразующее устройство, должен обладать рядом ключевых функциональных характеристик, обеспечивающих его эффективность, точность и удобство в эксплуатации. На этапе проектирования особое внимание уделяется тем параметрам конструкции, которые напрямую влияют на точность оцифровки и стабильность работы системы. Одним из базовых требований является обеспечение высокой точности считывания координат перемещения измерительного зонда. Это достигается как за счёт использования высокочувствительного оптического

сенсора, так и благодаря плавности механического хода каретки по направляющим [2].

Конструкция должна быть компактной и лёгкой, чтобы не вызывать усталости при длительной работе оператора, а также сохранять мобильность и возможность использования в полевых условиях или лабораториях без стационарного оборудования. При этом важным параметром является прочность и устойчивость всей конструкции, особенно каркаса и узлов перемещения — от этого зависит отсутствие вибраций, люфтов и отклонений в координатной передаче, что критически важно при создании точной цифровой копии объекта.

Кроме того, устройство должно быть автономным в плане питания — оно должно работать от батареи с достаточным ресурсом, чтобы обеспечить длительную сессию измерений без подзарядки. Конструкция должна допускать быстрый доступ к элементам питания для их замены, а также минимизировать энергопотребление за счёт применения экономичных компонентов и перехода в спящий режим при бездействии.

Ключевым требованием к конструкции является также её адаптивность: копир должен быть способен работать с объектами различных форм и размеров, в том числе — со сложными поверхностями. Это обуславливает необходимость свободного перемещения зонда по двум осям и возможность работы с изменяемой высотой установки [3].

Наконец, устройство должно быть ориентировано на простоту обслуживания и модульность: его конструкция должна позволять легко заменить или модернизировать электронные или механические элементы, а также — интегрироваться в различные системы сбора и обработки данных (например, посредством беспроводной передачи координат в реальном времени). Конструкция цифрового копира представлена на рис.1.

Разберем функции каждого элемента схемы:

1. Поверхность – рабочая область, на которой перемещается устройство определения координат;

2. Поверхность – рабочая область, на которой размещается объект (например, шаблон для копирования);

3. Каркас – опорная конструкция, обеспечивающая жёсткость и направляющие для движения системы;

4. Подшипники – позволяют свободно перемещаться подвижным частям;

5. Устройство определения координат (непосредственно цифровой копир) – фиксирует координаты стрелки;

6. Тонкий стержень – используется в качестве измерительной иглы, отслеживающей форму объекта;

7. Ручка – предназначена для удобства работы оператора.

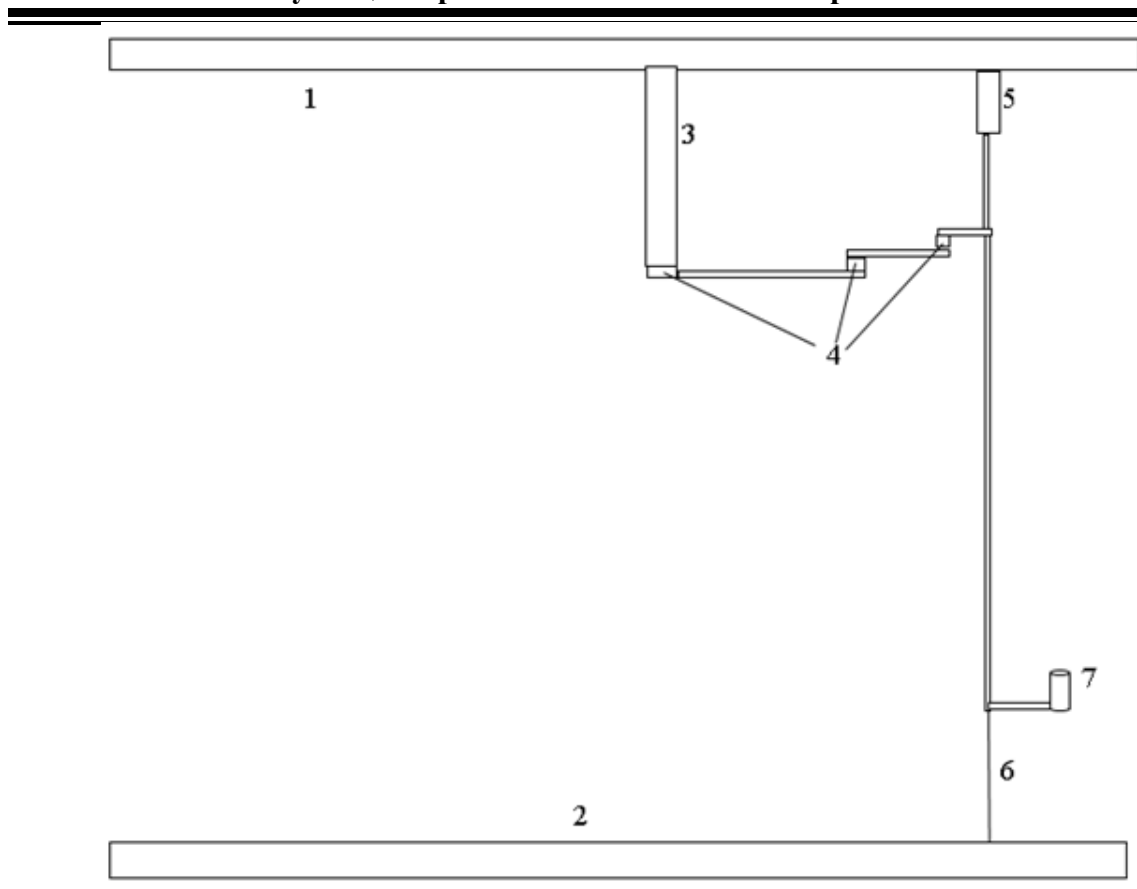


Рис. 18 – Конструкция цифрового копира (1,2 – поверхность; 3 - каркас; 4 - подшипники; 5 – устройство определения координат; 6 – тонкий стержень; 7 – ручка)

Стоит отметить, что основой устройства является жесткий каркас, обеспечивающий стабильность и направляющие для перемещения измерительного стержня. Каркас выполнен из легких, но прочных материалов, что позволяет сохранять устойчивость при работе без излишней нагрузки на конструкцию. Подвижные элементы смонтированы на подшипниках, что обеспечивает плавное и точное перемещение стержня по двум осям.

Измерительный стержень играет ключевую роль в процессе оцифровки. Он выполнен из тонкого, но прочного материала, что позволяет точно следовать контуру объекта без искажений. На конце стержня закреплен чувствительный элемент, который взаимодействует с оптическим датчиком, фиксируя каждое движение. Рабочая поверхность, на которой размещается объект, имеет ровную и устойчивую структуру, что минимизирует погрешности при измерении.

Можно сделать вывод, что разработанная конструкция цифрового копира сочетает в себе точность, энергоэффективность и простоту сборки. Механическая часть обеспечивает стабильное перемещение сенсора, а электронная система гарантирует точную регистрацию координат и удобную беспроводную передачу данных. Устройство

Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов

может быть использовано в инженерных лабораториях, образовательных проектах и для целей промышленности Донбасса.

Список литературы

1. Гольянов, М. А. «Обработка по копирам»: практическое пособие / М. А. Гольянов. — Москва: Машиностроение, 1983. — 56 с.
2. Малов, А. Н. «Копировальные устройства для обработки фасонных поверхностей на токарных и фрезерных станках» / А. Н. Малов, д-р техн. наук, проф. ; Науч.-техн. о-во машиностроит. пром-сти. Ун-т техн. прогресса в машиностроении. Заоч. курсы повышения квалификации ИТР по проектированию и эксплуатации станочных приспособлений. — Москва: Машиностроение, 1972. — 60 с.
3. Корогодина, А. С., Борисов, Б. П. «Построение профилей копиров для специализированных станков по обработке янтарных кабошонов на основе компьютерных технологий» [Электронный ресурс] // Вестн. молод. науки: электрон. науч. журн. — 2019. — №2(19). — С. 9. — URL: vestnikmolnauki.ru (дата обращения: 10.04.2025).

ЗАВИСИМОСТЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАЗЦА ОТ ВРЕМЕНИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

А.Н. Пересадченко, И.Н. Волошанович, Ю.А. Алехов, А.Н. Шавшина,
В.В. Афанасьев

ФГБУ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
«РЕАКТИВЭЛЕКТРОН»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Исследована зависимость шероховатости образца из Сталь 45 от времени магнитно-абразивной обработки композитным анизотропным магнитно-абразивным порошком. Установлено, что шероховатость $Ra=0,2$ мкм достигается после 80 сек МАО на простой установке на постоянных магнитах.

Annotation. The dependence of the roughness of a Steel 45 sample on the time of magnetic abrasive treatment (MAT) with a composite anisotropic magnetic abrasive powder has been investigated. It was found that the roughness $Ra = 0.2$ microns is reached after 80 seconds of MAT on a simple permanent magnet installation.

Ключевые слова: композитный анизотропный магнитно-абразивный порошок, магнитно-абразивная обработка, шероховатость.

Keywords: composite anisotropic magnetic abrasive powder, magnetic abrasive treatment, roughness.

При магнитно-абразивной обработке (МАО) в роли связки абразивных зерен используется магнитное поле, обладающее упругими силами воздействия на единичные зерна. Причем степень упругости этой связки легко регулируется изменением напряженности магнитного поля. Тем самым МАО может приближаться к шлифованию свободным или связанным абразивом, позволяя использовать преимущества первого или второго в одном рабочем цикле. Магнитно-абразивная обработка дает возможность: нивелировать абразивные зерна относительно обрабатываемой поверхности; предотвращать перегрузки зерен и появление вспышек мгновенного повышения температуры; избегать трения связки о материал детали; устранять причины, вызывающие изменение структуры материала в локальных зонах обрабатываемой поверхности и резко понижать (по сравнению со шлифованием сцементированным зерном) общую температуру резания [1].

Для исследования процесса МАО изготовлен анизотропный композитный магнитно-абразивный порошок (АКМАП) фракции 250/63 мкм, в котором магнитная основа - пластины $Fe_{72}Co_{28}$ фракции 200/180 мкм

покрыта смесью эпоксидной смолы с карбидом титана с дисперсностью 7/5. Состав АКМАП: TiC - 30 масс. %, ПЖР - 70 масс. %, эпоксидная смола 5 % масс (сверх 100 % масс.). Коэффициент анизотропии формы АКМАП - 14,3.

МАО проводили на разработанной нами лабораторной установке для магнитно-абразивной обработки тел вращения (материал образцов – сталь 45) диаметром 8–20 мм. Образцы приводятся во вращение вокруг своей оси, магнитная система с МАП осциллирует вдоль оси образца (рис. 1).

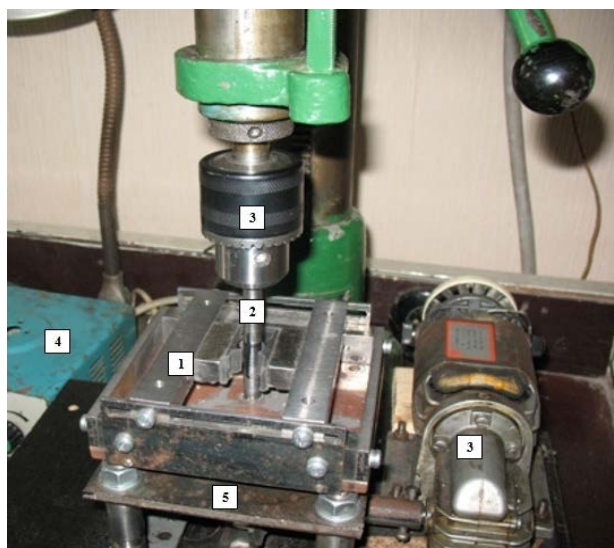


Рисунок 1 - Лабораторная установка для магнитно-абразивной обработки цилиндрических образцов

Образец (поз. 2) закрепляется в шпинделе сверлильного станка (поз. 3), магнитная система (поз. 1) жестко закреплена на подвижной площадке (поз. 5), которая осциллирует под действием эксцентрика, приводимого во вращение электродвигателем (поз. 6). Плавная регулировка частоты осцилляции обеспечивается блоком управления (поз. 4). Использовался следующий режим МАО: индукция в рабочем зазоре - 0,8 Тл, линейная скорость поверхности образца - 0,73 м/сек, амплитуда осцилляции - 3 мм, частота осцилляции - 300 сек⁻¹, диаметр обрабатываемого образца Ø 10 мм.

Оценку шероховатости поверхности образца после магнитно-абразивной обработки композитными магнитно-абразивными порошками осуществляли контактным методом при помощи портативного измерителя шероховатости профилометром TR200.

Для оценки шероховатости поверхности образцов до и после МАО использовали параметры, определяющие неровность поверхности: Ra – среднее арифметическое абсолютных значений отклонения профиля (Y_i) от средней линии в пределах длины оценки, Rz – среднее от суммы значений

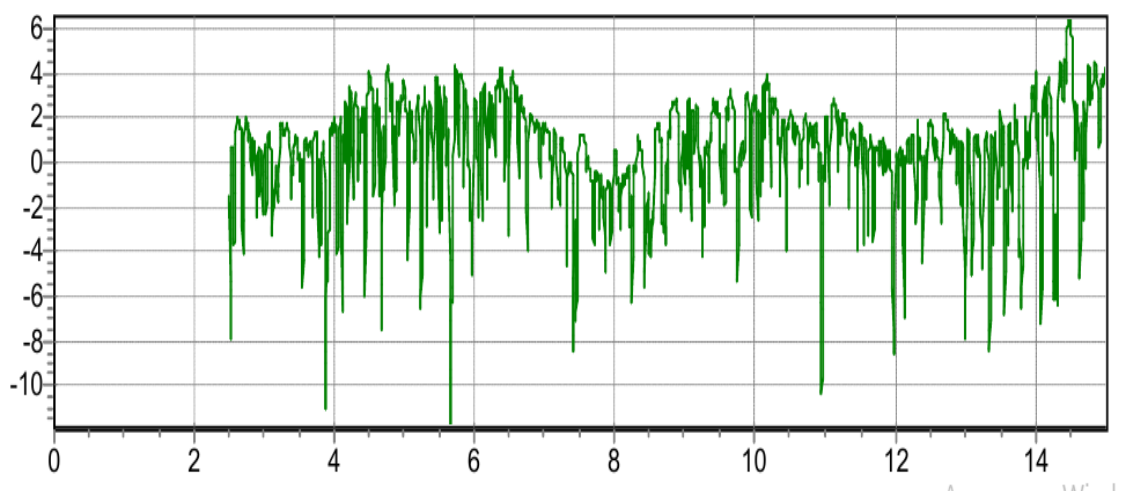
высоты пяти наибольших выступов профиля и суммы значений пяти наибольших впадин профиля в пределах длины оценки.

Измерение шероховатости проводили вдоль образующей цилиндрической поверхности обрабатываемой детали.

Предварительно все детали шлифовали на круглошлифовальном станке для достижения начальной шероховатости $R_a \sim 2$ мкм. МАО происходит следующим образом. В рабочую область засыпается АКМАП объемом 2 см^3 , помещается обрабатываемый образец и в течении заданного времени производится магнитно-абразивная обработка при вышеуказанном режиме.

Затем из рабочей области удаляется обрабатываемый образец и взвешивается на аналитических весах. В рабочую область помещается «свежий» порошок для достижения объема 2 см^3 . Обработка образца производится на участке с исходной шероховатостью. Такой цикл повторяется необходимое количество раз.

В данном исследовании проведено 4 цикла с непрерывным временем обработки 60, 80, 100 и 200 сек. Исходная шероховатость приведена на рисунке 2.



Рисунке 2 - Начальная шероховатость $R_a=1,775$ мкм $R_z=14,410$ мкм

Результат обработки после 60 сек. приведен на рисунке

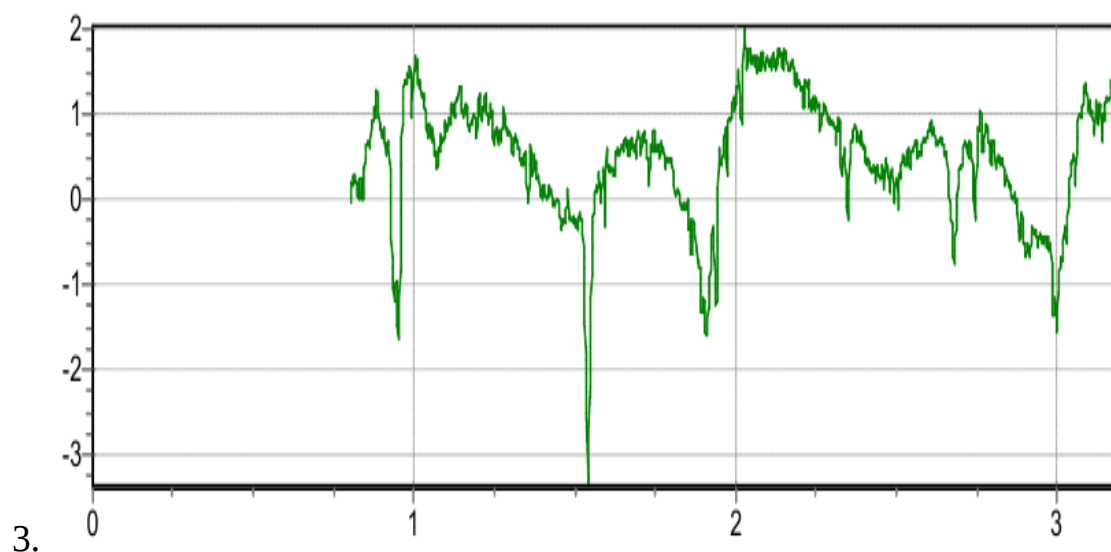


Рисунок 3 - Шероховатость $R_a=0.516$ мкм $R_z=3,88$ мкм после МАО 60 сек

Результат обработки после 200 сек. приведен на рисунке 5.

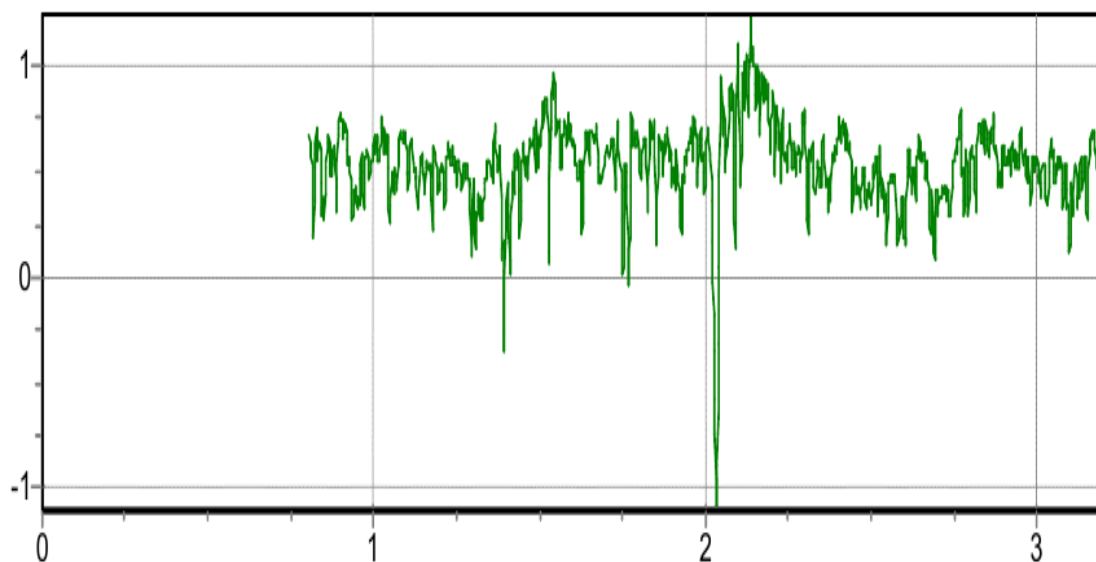


Рисунок 4 - Шероховатость $R_a=0.122$ мкм $R_z=1,440$ мкм после МАО 200 сек

Значения изменения параметра шероховатости R_a от времени приведены на рисунке 5.

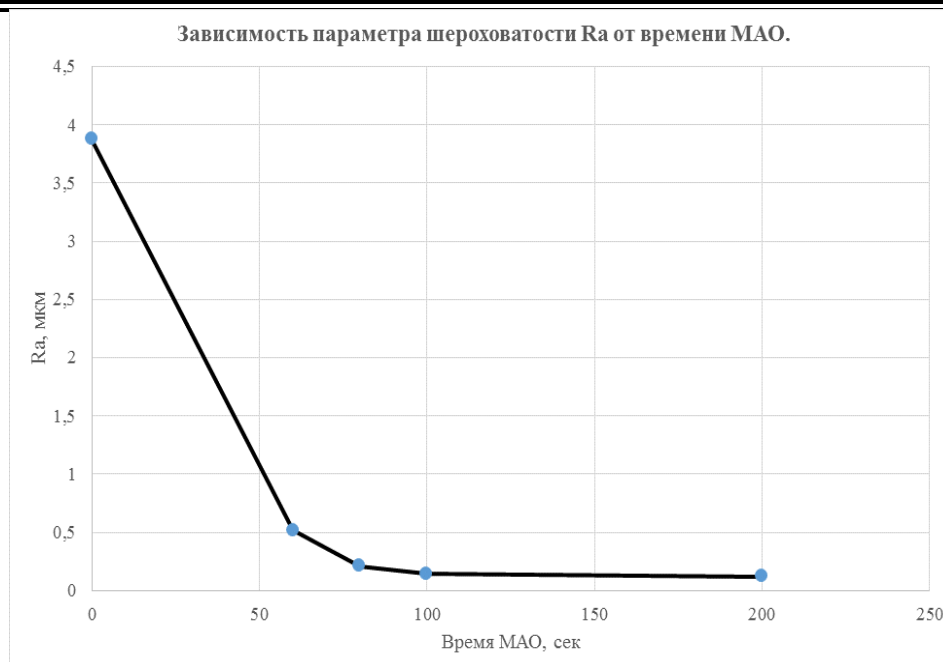


Рисунок 5 - Зависимость параметра шероховатости R_a от времени МАО

Как видим шероховатость $R_a=0,2$ мкм достигается после уже 80 сек МАО. Этот уровень шероховатости соответствует 1-му классу точности и качеству поверхности, соответствующее 10-11-му классам шероховатости.

Выводы. МАО синтезированным АКМАП при работе с относительно невысокими скоростями взаимного перемещения ($v = 1-3$ м/с) и осцилляции ($v_0 = 0,15-0,3$ м/с) детали, с малыми амплитудами ($A = 0,5-2$ мм) осцилляции при магнитной индукции в рабочем зазоре $B = 1-2$ Тл. позволяет достигать высокого качества поверхности. Причем цикл работы станков при МАО может быть автоматизирован и роботизирован благодаря подвижности рабочей абразивной массы.

Список литературы

1. Полищук, В.С. Модельные порошки-инструменты для магнитно-абразивной обработки сталей, твердых сплавов и цветных металлов: монография / В.С. Полищук, Ю.А. Алехов, А. Н. Пересадченко . – Донецк : Издательство ИП Ильина Н.Б., 2023. – 208 с. – ISBN: 978-5-6050172-2-6.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ СИЛОВЫХ РАСЧЕТОВ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСА SMATH STUDIO

Пипкин Ю.В., Зинченко А.М., Стародубов С.Ю.
ФГБОУ ВО «ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
г. Алчевск, ЛНР

Представлен подход к автоматизации силовых расчетов станочных приспособлений на основе формирования исполняемых программ с помощью математического пакета SMath Studio.

An approach to automation of forces calculations of workholding fixtures based on the formation of executable programs using the SMath Studio mathematical package is presented.

Ключевые слова: автоматизация расчетов, станочное приспособление, силовой расчет.

Keywords: automation of calculations, workholding fixtures, force calculation.

Силовые расчеты станочных приспособлений являются важной составляющей технологической подготовки производства и могут быть отнесены к элементам специализированных систем CAFD-систем проектирования станочных приспособлений [1] (CAFD — Computer-Aided Fixture Design), как части CAPP-систем.

По глубине анализа, проводимого в силовом расчете при формировании расчетных схем, расчеты можно разделить на следующие уровни:

1) аналитические расчеты, требующие детального анализа факторов при построении расчетной схемы (к ним в первую очередь можно отнести расчет требуемой зажимной силы, необходимой для сохранения базирования заготовки под действием сил резания);

2) типовые расчеты, имеющие типовые расчетные схемы и набор расчетных параметров (к ним можно отнести расчеты промежуточных и передаточных силовых механизмов и приводов).

Появление массива приложений, реализующих типовые расчеты станочных приспособлений на основе известных конструкций, прогнозировалось, как один из признаков развития методики проектирования [2]. Проводимую в этом направлении работу можно охарактеризовать как

находящуюся в стадии научных исследований, ввиду отсутствия на сегодняшний момент широкодоступных специализированных программ расчета. В этой ситуации представляет интерес возможность быстрого формирования расчетных приложений с помощью программного комплекса SMath Studio [3], позиционирующегося как российская альтернатива MathCAD и имеющая возможность сохранять созданный документ в виде исполняемого файла-программы.

Рассмотрим пример организации типового расчета на основе справочника [4] для случая применения рычажно-шарнирного зажимного механизма (рис. 1).

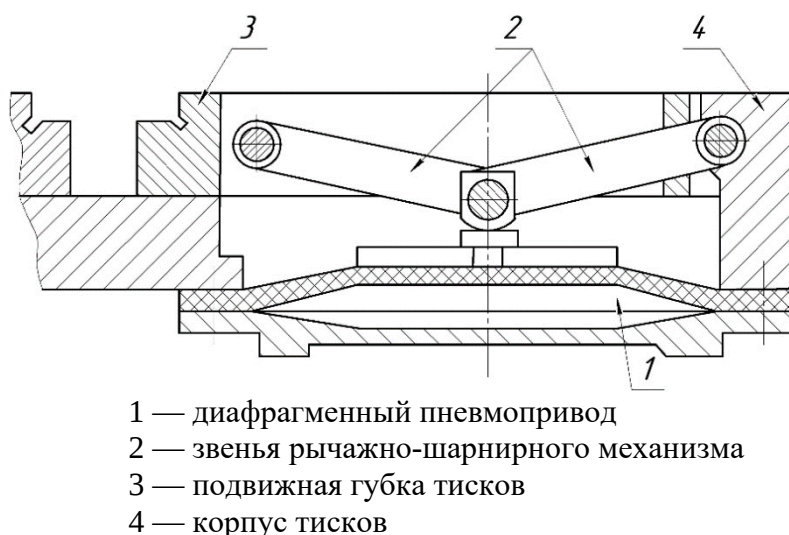


Рисунок 1 — Пневматические тиски с рычажно-шарнирным механизмом одностороннего действия

Подходящая расчетная схема из справочника представлена на рисунке 2. Для данной расчетной схемы рекомендуется определять зависимость силы W от силы Q и ряда конструктивных параметров по формуле:

$$W = 0,5 \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)} - \operatorname{tg} \varphi_{2np} \right),$$

где W — сила, прикладываемая плунжером к заготовке, Н;
 Q — сила, создаваемая приводом (диафрагменным), Н;
 L — длина звена, мм;
 α — угол наклона звена в момент зажима, градусов;

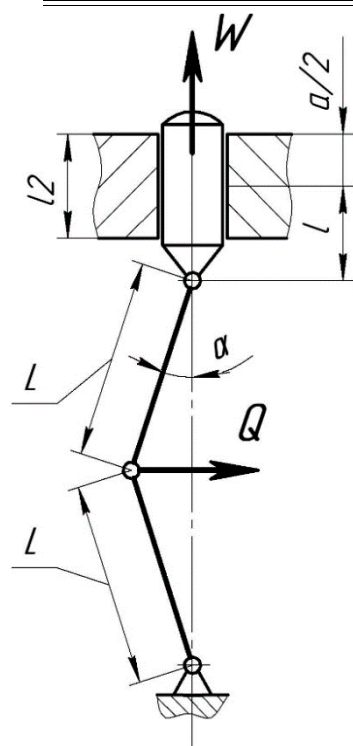


Рисунок 2 — Расчетная схема механизма из [4]

l_2 — длина направляющей плунжера, мм;

l — расстояние от шарнира до середины направляющей плунжера, мм;

$a/2$ — середина направляющей плунжера, мм;

$= \arcsin [f \times (d/D)]$ — дополнительный угол, учитывающий потери на трение в шарнирах, где f — коэффициент трения в шарнирах (для трения скольжения составляет в среднем 0,04), а d и D — соответственно диаметр цапфы ролика и наружный диаметр ролика (причем для шарнира можно считать эти диаметры равными), мм;

$2_{np} = \arctg (3 \times l / l_2) \times \text{tg } 2$ — приведенный угол трения в плунжерной паре, где 2 — угол трения в плунжерной паре.

В справочнике приводятся результаты расчета передаточного отношения при условиях: $2 = 5^{\circ}50'$; $\text{tg } 2_{np} = 0,21$; $= 1^{\circ}10'$; $d/D=0,5$; $(3 \times l / l_2) = 2,1$ (т.е. $l = 0,7 l_2$). Для применения справочной типовой расчетной схемы ее нужно расположить горизонтально, соответственно анализируемой конструкции (рис. 3), обозначив соответствующие параметры расчета.

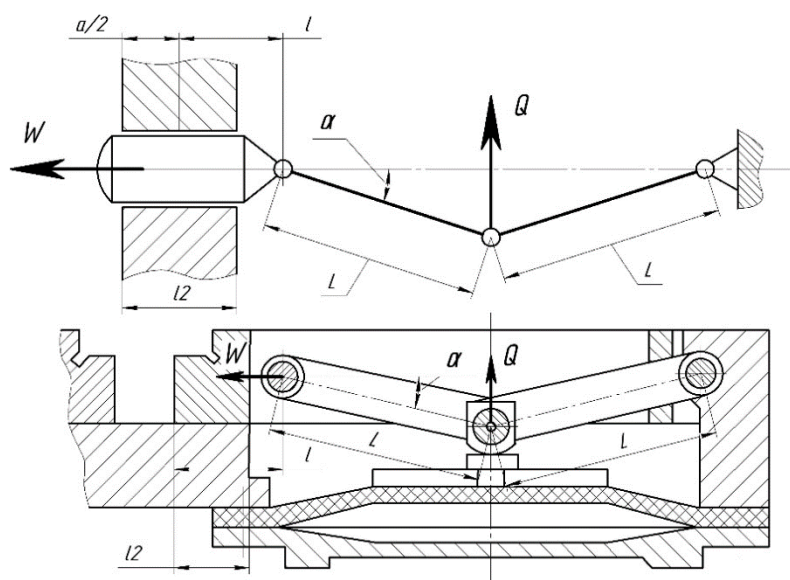


Рисунок 3 — Преобразование и приложение расчетной схемы

В пакете SMath Studio представленная выше информация, формулы, эскизы располагаются естественным образом (аналогично пакету MathCAD). Формулы записываются обычным способом, но параметры задаются перед формулой, а не после, как в пояснительных записках.

После оформления расчетных формул и задания исходных данных получают результат расчета. Результат расчета необходимо верифицировать, рассматривая его как компьютерную модель. После успешной верификации документ может быть сохранен в виде исполняемого файла с расширением *.exe и затем запущен как самостоятельное приложение (рис. 4).

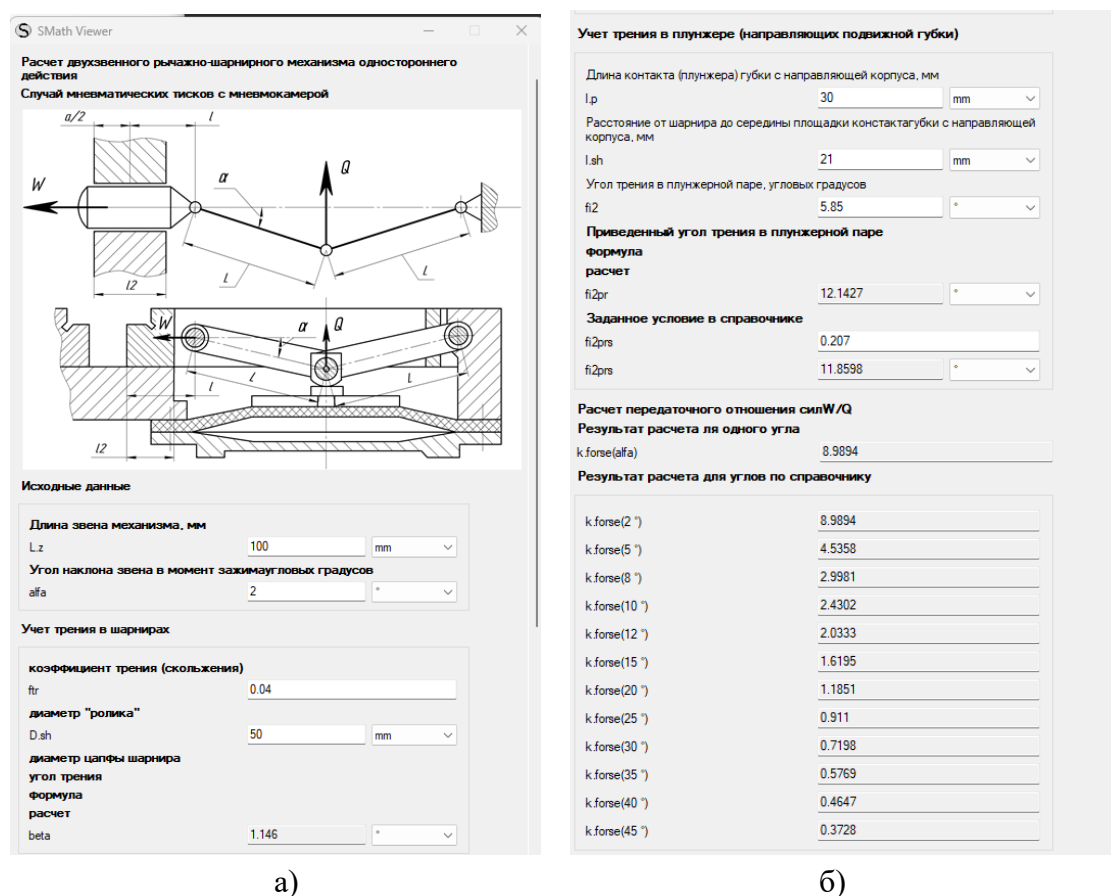


Рисунок 4 — Диалоговое окно приложение по расчету силового передаточного коэффициента плунжерного рычажно-шарнирного зажимного механизма одностороннего действия: а, б — первая и вторая часть единого диалогового окна

Для верификации был сделан расчет передаточного коэффициента для значения углов α заданных в справочнике [4] и выполнено сравнение со справочными значениями (таблица 1). По таблице 1 видно, что результат расчета на компьютерной модели практически совпадает со справочными данными. Это позволяет принять разработанный вариант расчета в пакете SMath Studio для дальнейшего применения.

Таблица 1 — Сравнение расчетных и справочных передаточных коэффициентов

Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов

Угол $\alpha, ^\circ$	2	5	8	10	12	15	20	25	30	35	40	45
Расчет	8,98	4,54	2,99	2,43	2,03	1,62	1,18	0,91	0,72	0,58	0,46	0,37
Справ.	8,93	4,52	3,00	2,42	2,03	1,62	1,18	0,91	0,72	0,58	0,46	0,38

В процессе работы над реализацией типового расчета в пакете SMath Studio было установлена неточность расчетной формулы в справочнике [4], а также излишние исходные данные о длине звеньев, которые не участвуют в расчете передаточного отношения.

Выводы: в работе установлена возможность быстрого создания массива программ для типовых силовых расчетов станочных приспособлений на основе пакета SMath Studio. Исполняемый файл программы расчета выложен в свободный доступ [5].

Перечень ссылок

1. A rule-based system for fixture design / D. Vukelic, B. Tadic, O. Luzanin, I. Budak, P. Krizan, J. Hodolic // Scientific Research and Essays Vol. 6(27), pp. 5787-5802, 16 November, 2011. — DOI: 10.5897/SRE11.1138 — URL: https://www.researchgate.net/publication/259382257_A_rule-based_system_for_fixture_design (date the link was accessed 17.04.2025)
2. Спичак, Ю. Н. Оценка методов проектирования станочных приспособлений с позиции повышения точности и эффективности конструкций / Ю. Н. Спичак, Ю. В. Пипкин // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2019. – № 13(56). – С. 100-110. – EDN BGZVIV.
3. SMath Studio. Официальный сайт программы. — URL: <https://smath.com/ru-RU/>.
4. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т. / Ред. совет: Б.Н. Вардашкин (пред.) и др. — М.: Машиностроение, 1984. — Т. 1 / Под ред. Б.Н. Вардашкина, А.А. Шатилова, 1984. — 592 с.
5. Расчет двухзвенного рычажно-шарнирного механизма одностороннего действия. Программа (рус). — URL: <https://disk.yandex.ru/d/vshI1Cs0ZVIZ0g> (режим доступа – свободный).

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВИБРАЦИОННОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ КОМБИНИРОВАННЫХ РЕДУКТОРОВ ПРОКАТНЫХ КЛЕТЕЙ

А.В. Пичахчи, В.А. Сидоров

ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. Проведено исследование методов вибрационного контроля подшипников качения в редукторах прокатных клетей. Установлена зависимость параметров ударного взаимодействия от условий прокатки. Получены критерии оценки остаточного ресурса. Разработан алгоритм диагностирования для стационарной системы мониторинга.

Ключевые слова: вибрационный контроль, комбинированный редуктор, подшипник качения, прокатная клеть, удар, остаточный ресурс.

Abstract. The study of vibration control methods for rolling bearings in rolling mill gearboxes was conducted. The dependence of impact interaction parameters on rolling conditions was established. The criteria for assessing the residual life were obtained. A diagnostic algorithm for a stationary monitoring system was developed.

Keywords: vibration control, combined gearbox, rolling bearing, rolling mill, impact, residual life.

Введение. Состояние подшипников качения в приводах прокатных станов оказывает прямое влияние на надёжность и производительность агрегатов, особенно в условиях высоких скоростей прокатки (до 100 м/с для мелкосортных и до 20 м/с для среднесортных непрерывных прокатных станов) и широкого сортамента продукции. В составе каждого комбинированного редуктора может находиться до десяти подшипников, работающих в различных режимах при смазке однотипными маслами. Учитывая сложность конструкции, большое число деталей, контактные напряжения и трудности организации смазки, подшипники требуют постоянного контроля. Современные стационарные системы вибрационного мониторинга позволяют использовать ударные и переходные процессы как диагностические признаки, что стало основой настоящей работы.

Постановка задачи. В рамках представленного исследования решены следующие задачи:

1. Выполнен обзор методов диагностирования состояния подшипников в составе редукторов, включая методы спектрального

анализа, оценку по пик-фактору, среднеквадратичным значениям и огибающей высокочастотного сигнала [1,2].

2. Разработана математическая модель динамического взаимодействия элементов редуктора, позволяющая учитывать изменение упругих характеристик, наличие зазоров, масляной плёнки и демпфирующих свойств.

3. Установлены зависимости между показателями вибрации и повреждениями элементов подшипника; определены условия, при которых высокочастотные колебания теряют информативность при удалении от источника (что подтверждается экспериментально).

4. Разработан алгоритм диагностирования на основе определения допустимых границ вибрационных параметров и анализа риска повреждений (см. далее).

Общие положения. Упруго-демпфирующие свойства корпуса редуктора, в наибольшей степени связаны с передаточным числом, массой механизма, моментом инерции, определяют степень затухания колебаний. Некоторые из узлов редуктора не доступны для внешнего контроля, и это необходимо учесть при анализе амплитудных значений.

Частота вращения, действующие внешние силы определяются прокатываемым сортаментом и выбранным режимом калибровки, составляя технологические нагрузки. Для непрерывных станов возможно проведение измерений в режиме холостого хода, при наличии слитка между валками и при наличии слитка в валках рядом расположенных клеток (это влияние незначительно для чистовой группы, но может быть существенным для клеток черновой группы).

Методика и экспериментальные исследования. Для проверки положений теоретической модели проведены лабораторные исследования на стенде с клетью ДУО-130 (рисунок 1). Измерения проводились на корпусе верхнего подшипника шестерённой клетки при захвате заготовки прокатными валками. Использовался одноканальный переносной виброанализатор. Места установки, режимы измерений при промышленном эксперименте выбирались на основании моделирования путей распространения вибрационного сигнала.

Наряду с экспериментальными данными использованы натурные измерения на прокатной клетке №18 сортового стана 390. Расположение контрольных точек и условия измерения приведены на рисунке 3.

Результаты и обсуждение. Экспериментально подтверждено, что распространение вибрационного сигнала сопровождается затуханием, обусловленным демпфированием, геометрией и наличием зазоров [3,4,5]. Выделены информативные частоты (250–500 Гц), в которых наиболее чётко фиксируются переходные процессы. Частотная картина изменяется в зависимости от сортамента и режимов прокатки.

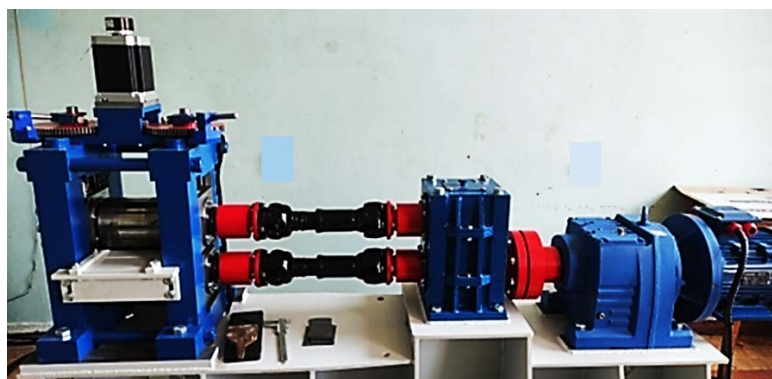


Рис. 1. Общий вид лабораторного прокатного стана ДУО-130

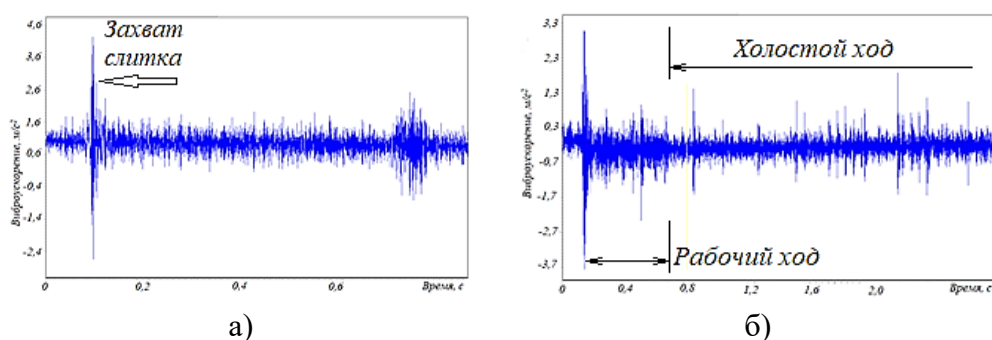


Рис. 2. Реализации временного сигнала виброускорения при прокатке заготовки:
а) серия 1 – средняя скорость; б) серия 4 – максимальная скорость.

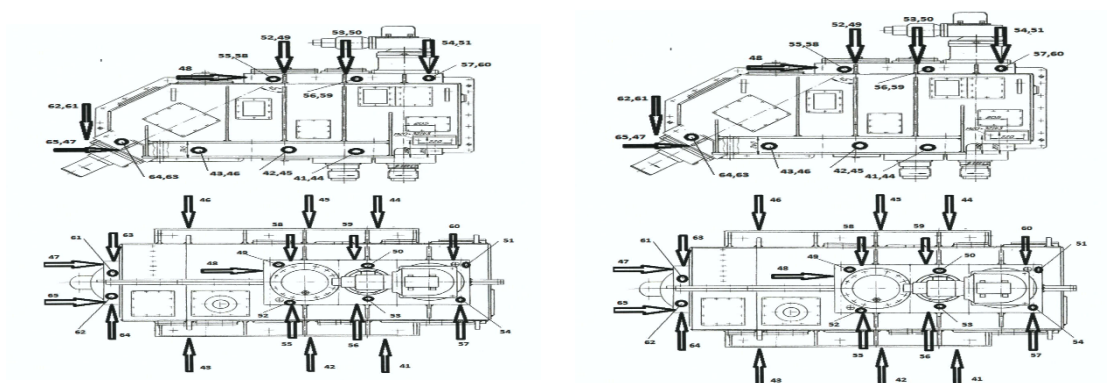


Рис. 3. Расположение контрольных точек при измерении вибрации
верхнего комбинированного редуктора прокатной клетки №18

Обработка данных показала экспоненциальную зависимость размаха виброускорения от частоты вращения валков, тогда как усилие прокатки оказывает минимальное влияние. Эти зависимости легли в основу разработанного алгоритма прогнозирования ресурса подшипников и определения предельных значений вибрационных параметров.

Выводы.

1. Комбинированный редуктор представляет собой сложную систему, изменение состояния одного элемента которой влияет на вибрационные характеристики всей конструкции.
2. Распространение вибросигнала сопровождается затуханием и искажением, требующим учёта при выборе точек и режимов измерения.
3. Построенная диагностическая модель и алгоритм позволяют оценивать остаточный ресурс подшипников на основании высокочастотных колебаний и переходных процессов.
4. Полученные зависимости позволяют сократить количество точек контроля без потери диагностической информативности.
5. Разработанные подходы применимы в составе стационарных систем мониторинга, ориентированных на предупреждение аварийных ситуаций и управление техническим состоянием оборудования.

Список литературы.

1. Розенберг Г.Ш. Вибродиагностика: монография / Г.Ш. Розенберг, Е.З. Мадорский, Е.С. Голуб и др. Под ред. Г.Ш. Розенберга. – Санкт-Петербург: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
2. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7. Кн. 2. Вибро-диагностика / Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. 2-е изд., дораб. Москва: Машиностроение, 2006. – 829 с.
3. Shi, Zh. A novel test rig for the investigation of roller-cage impact of a needle roller bearing / Zh. Shi, J. Liu // Measurement Science and Technology. – 2023. – DOI: 10.1088/1361-6501/acb809.
4. Jianyu Liu, Xinbin Li, Jing Liu, Yajun Xu, Guang Pan. Vibration analysis of a coupled propulsion shaft-shell system based on the numerical and semi-analytical methods // Journal of Sound and Vibration. 2025. – DOI: 10.1016/j.jsv.2024.118845.
5. Исследование влияния условий испытаний подшипников качения на информативность оценки их технического состояния / И.С. Кудрявцева, А.П. Науменко, А.И. Одинец, В.В. Басакин // Проблемы машиноведения: Материалы IV Международной научно-технической конференции, Омск, 17–19 марта 2020 года / Научный редактор П.Д. Балакин. – Омск: Омский государственный технический университет, 2020. – С. 361-367.

УДК 621.313

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАЛОГЕНЕРАТОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОРСКИХ СУДОВ

А.Н. Рак, В.О. Гутаревич

ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет»,
г. Петропавловск-Камчатский, ФГБОУ ВО «Донецкий национальный
технический университет», г. Донецк

Аннотация. В статье рассмотрены особенности конструкции и определения мощности судовых интегрированных валогенераторных систем с установкой перед главным двигателем. Показаны их технические возможности и преимущества перед другими существующими системами.

Ключевые слова: морское судно, главный двигатель, генератор, вал, редуктор, вращение, вибрация, муфта

Annotation. The article discusses the design features and power determination of marine integrated front end shaft generator systems installed in main engine. Their technical capabilities and advantages over other existing systems are shown.

Key words: motor vessel ship, main engine, generator, shaft, rotating, gear box, vibration, coupling

Известно, что электрическая энергия на морских судах производится с помощью дизельных генераторов (ДГ), которые являются вторым после главных двигателей (ГД) потребителем углеводородного топлива. Они доказали свою надежность в течение многих десятилетий эксплуатации морских судов. Но, несмотря на это, целый ряд документов Международной морской организации (ИМО) устанавливает требования к действующим и строящимся морским судам на их соответствие уровням энергоэффективности [1], а также ужесточает требования к сокращению всех видов выбросов с морских судов [2, 3]. При этом поощряется установка на судах, так называемых, инновационных установок в том числе с возобновляемыми источниками, генерирующих электрическую энергию. К инновационным системам в соответствии с классификацией ИМО относят турбогенераторы, ветрогенераторы, солнечные панели, генераторы на низкотемпературном кипящем теле. Анализ производства энергии такими установками показывает, что, например, мощность самого турбогенератора целиком зависит от мощности ГД, а также и от того работает он или нет. Остальные источники электрической энергии, как правило, являются маломощными по сравнению с мощностью ДГ, например, на контейнеровозах [4], или, в лучшем случае, соизмеримой мощности. Их

наличие на судах является весомым фактором при работе не только в зонах экологического контроля, но и при обработке в целом ряде портов Западной Европы, США и др. Для этого данные системы должны пройти процедуру верификации [1].

Еще одним из способов повышения уровня энергоэффективности является применение эффективных систем, к которым относят валогенераторы (ВГ) [5]. Судовые интегрированные валогенераторные системы (СИБГС) имеют свои особенности, но менее распространены.

Одним из решений является приведение в действие ВГ с постоянной скоростью от ГД, который работает на различных частотах вращения при установке на судне винта с фиксированным шагом.

Механическая часть СИБГС устанавливается перед ГД и присоединяется непосредственно к коленчатому валу с помощью фланца. Она состоит из одноступенчатой передачи, гибкой соединительной муфты, одного или нескольких генераторов. Наличие гибкой муфты позволяет уменьшить влияние вибраций от ГД на одноступенчатую передачу, к которой присоединены ВГ.

Вырабатываемая генераторами электрическая энергия через преобразователи частоты поступает на главный распределительный щит. В зависимости от требуемых уровня напряжений также могут устанавливаться трансформаторы.

В общем случае СИБГС обладает целым рядом преимуществ для новых и модернизируемых судов. Она более компактна, чем ВГ, устанавливаемые в линии гребного вала, и присоединяемые непосредственно к ГД. Для ВГ, устанавливаемых в линию гребного вала, дает выигрыш в 1,6 м.

Поскольку СИБГС присоединяется непосредственно к ГД с помощью фланца, то такая конструкция не требует устройства дополнительного фундамента, облегчает балансировку системы и снижает общие затраты на установку системы. Входящая в конструкцию системы гибкая муфта позволяет уменьшить влияние вибрации от ГД на генераторы. Система имеет плоскую конструкцию редуктора и специально разработанные короткие генераторы.

Сравнение диапазона работы СИБГС, зависимости КПД синхронного генератора и удельного расхода топлива в ГД доказывает целесообразность их применения.

Модульная концепция позволяет адаптировать несколько генераторов одного размера. Основным преимуществом является то, что номинальная мощность системы может варьироваться от 500 кВт до 2500 кВт без

необходимости дополнительного осевого пространства, хотя и заявленная мощность будет заметно варьироваться в зависимости от технического состояния, например гребного винта или корпуса судна.

Несмотря на множество преимуществ, описанных выше, данная система не позволяет осуществлять вспомогательно-аварийное движение судна, в отличие от системы с ВГ, установленным в линии гребного вала.

Перечень ссылок

1. Procedure for calculation and verification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI). No. 38 (May 2013) (Rev.1 Mar 2016)
http://wwwold.prs.pl/files/parent225/p103p_en.pdf.

2. МАРПОЛ 73/78. Приложение VI (пересмотренное) к Конвенции «Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов» / ЗАО ЦНИИМФ Санкт-Петербург, 2022 – 50 с.

3. Руководство по применению положений Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78. НД №2-030 101-049 / ФАУ «Российский морской регистр судоходства» Санкт-Петербург, 2022 – 135 с.

4. Рак А.Н., Царенко С.Н. Особенности расчета параметров вспомогательно-аварийного движения на морских судах с комбинированным дизель-электрическим двигателем. / Вестник Государственного университета морского флота имени адмирала С.О. Макарова. – СПб: ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2021. – Т.13. - №1. – С.115-125.

5. Рак А.Н., Корощенко А.В., Капанадзе Г.А. К вопросу настройки и эксплуатации дизелей с электронным управлением. Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: материалы международной научно-технической конференции (17-19 октября 2018 г.): в 2ч./ отв. За вып. О.А.Белов. – Ч.1. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – С.97-102.

УСТРОЙСТВО БЕСКОНТАКТНОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ СВС ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ДУГОВЫМ РАЗРЯДОМ

И.В. Садовая, Ю.А. Алехов, Ф.Н. Сагдеева, А.В. Кара
ФГБНУ НИИ «РЕАКТИВЭЛЕКТРОН»,
г. Донецк, ДНР

Аннотация. В работе предложено устройство бесконтактного инициирования СВС интерметаллидов с помощью высокотемпературного дугового разряда.

Annotation. The paper calculates the pressure that occurs during the formation of a filter element from mixtures of nickel and aluminum powders under the action of centrifugal forces.

Ключевые слова: интерметаллиды, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, инициирование, дуговой разряд.

Keywords: filtration materials, centrifugal force field, pressure, self-propagating high-temperature synthesis, reaction sintering

Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза неорганических соединений и материалов основан на проведении экзотермических реакций синтеза в режиме теплового распространения волны горения. Реакция локализуется в зоне и самопроизвольно перемещается по смеси реагентов. В результате такого процесса образуются ценные тугоплавкие соединения, интерметаллиды, халькогениды, гидриды и другие неорганические соединения, имеющие большое значение в современной технике [1].

Одним из препятствий, встречающегося на пути исследований является инициирование самого процесса СВС. Известны разные способы инициирования реакции (поджига): с помощью термических смесей, лазера, электровоспламенителя, электромагнитной индукции, вольфрамовой спирали и др. Результативность и эффективность данных способов неоднозначна и зависит от внешних факторов, физических и химических свойств реагентов, соотношения компонентов, температурного режима реакции. Использование дополнительных химических компонентов для поджига (например, металлический магний) увеличивает возможность загрязнения конечного продукта инородными химическими элементами, а использование вольфрамовой спирали – перегоревшими участками вольфрамовой проволоки [2].

Для поджига экзотермических смесей порошков металлов (Al-Ni; Al-Co; Al-Fe), образующих интерметаллиды, необходим высокотемпературный

инициатор с достаточно продолжительным временем инициирования в точке поджига.

В настоящей работе в качестве инициатора экзосмеси порошков Al и Ni были использованы:

- нихромовая спираль, нагретая до температуры 1200°C;
- вольфрамовая спираль, нагретая до температуры 2000°C;
- контакты электровоспламенителя, обеспечивающего в точке поджига температуру более 5000°C;
- горящая магниевая стружка, обеспечивающая в точке поджига температуру 3000°C.

Установлено, что нихромовая спираль не обеспечивает поджиг экзосмеси (очевидно из-за низкой температуры), вольфрамовая спираль обеспечивает поджиг, однако по данным анализа загрязняет полученный в результате СВС продукт. Аналогичный результат имеет место и при использовании магниевой стружки. Следует отметить, что применение вышеуказанных инициаторов СВС проблематично в случае реализации процесса в поле центробежных сил.

Для электровоспламенительного поджига экзосмеси порошков Al и Ni нами изготовлено устройство бесконтактного инициирования СВС высокотемпературным дуговым разрядом (рисунок 1).

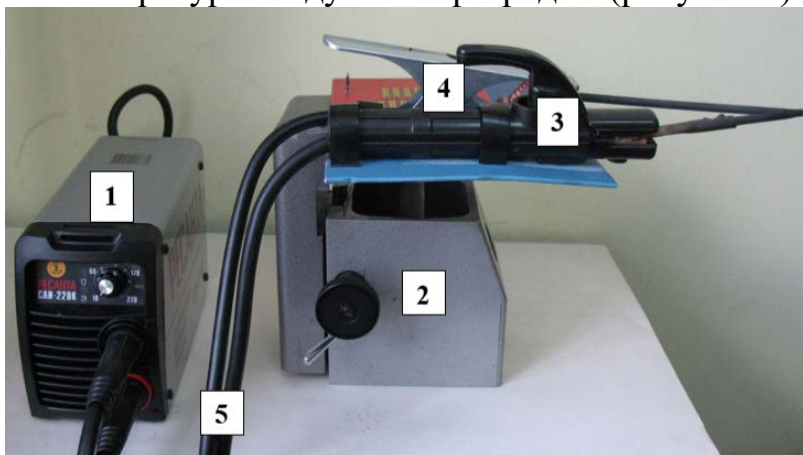


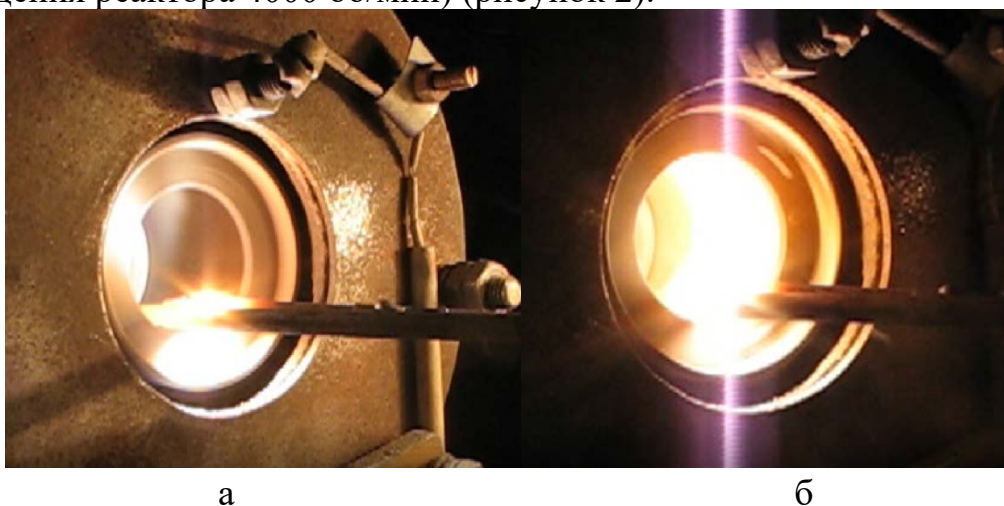
Рисунок 1 – Устройство бесконтактного инициирования СВС
высокотемпературным дуговым разрядом

Устройство включает в себя: источник постоянного тока (1) инверторного типа САИ 250К, обеспечивающего мощность – 7,8 кВА, рабочее напряжение ММА – 30 В, эффективный потребляемый ток – 24 А, напряжение дуги – 28,8 В; позиционер (2) с регулировкой и фиксацией положения электродов в пространстве; держатель анода (3) с вставленным в него графитовым анодом; держатель катода (4) с вставленным в него графитовым катодом; токоведущих кабелей (5).

Перед использованием анод и катод устройства при помощи позиционера вводится в рабочую зону реакции таким образом, чтобы зазор

между ними находился в точке поджига (на расстоянии не более 5 мм от поверхности смеси). При включении источника постоянного тока между анодом и катодом возникает высокотемпературный (более 5000°C) разряд, образующий облако плазмы, размером, определяемым положением регулятора источника тока. Плавно увеличивая регулятором величину тока, облако плазмы начнет касаться реакционной поверхности и осуществляется поджиг. После начала реакции устройство поджига выключают и позиционером выводят анодно-катодный узел из зоны поджига.

Указанный метод позволил инициировать СВС процесс экзосмеси порошков Al и Ni как в статических условиях, так и в реакторе, обеспечивающем поле центробежных сил с ускорением 3960 м/сек^2 (частота вращения реактора 4000 об/мин) (рисунок 2).



а – момент поджига СВС экзосмеси, б – состояние системы через 1 сек
после начала реакции СВС

Рисунок 2 – Поджиг СВС экзосмеси порошков Al и Ni в реакторе

Выводы. В работе предложено устройство бесконтактного инициирования СВС интерметаллидов с помощью высокотемпературного дугового разряда, позволяющее со 100%-ной вероятностью инициировать процесс горения порошковых экзосмесей как в статических условиях, так и в поле центробежных сил без использования дорогостоящих горючих реагентов и загрязнения продуктов реакции.

Перечень ссылок

1. Мержанов, А.Г. / Твердопламенное горение / А.Г. Мержанов, А.С. Мукасян. – М.: Торус Пресс, 2007. – 336 с.
2. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика. – Черноголовка: Территория, 2001. – 432 с.

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ГОРНОЙ МАССЫ В ШНЕКОВОМ ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ ОРГАНЕ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

В.Г. Нечепаяев

ФГБОУВП «Донецкий национальный технический университет»,
г. Донецк

Разработана расчетная схема для моделирования формирования сопротивления перемещению горной массы в окне выгрузки шнекового исполнительного органа очистных комбайнов для выемки тонких пологих пластов.

Ключевые слова: *очистной комбайн, шнек, исполнительный орган, выгрузка, горная масса.*

A calculation scheme has been developed for modeling the formation of resistance to the movement of rock mass in the discharge window of the auger operating element of shearers for the extraction of thin flat seams.

Key words: *shearer, auger, operating element, discharge, rock mass.*

Проблема энергообеспеченности промышленных предприятий и бытовых потребностей населения непрерывно актуализируется для большинства стран-представителей мировой экономики. В Российской Федерации для решения этой проблемы в качестве эффективного энергоносителя по-прежнему широко используются угли различных марок, при разработке которых наиболее широко применяется открытый (карьерный) способ разработки углей. Однако, коксующиеся и другие ценные экспортные марки угля залегают в пластах, которые разрабатываются подземным (шахтным) способом. В Донецком регионе основные запасы сосредоточены в тонких пологих пластах мощностью 0,55...1,20 м при большой глубине залегания (1050...1500) м. Выемка таких пластов осуществляется преимущественно шнековыми очистными комбайнами [1].

Особенности конструктивной схемы узкозахватных шнековых очистных комбайнов для выемки тонких пологих пластов вызывают формирование объемного напряженного состояния транспортируемой в рабочем пространстве шнекового исполнительного органа горной массы, что существенно ограничивает производительность рабочего процесса [1,2,3 и др.].

Для определения рациональных параметров шнековых исполнительных органов работающих в этих условиях, в качестве одного из

основных этапов решения этой задачи, необходимо установление закономерностей формирования сопротивления выгружаемому потоку горной массы в окне выгрузки путем моделирования этого сложного процесса.

При разработке модели формирования сопротивления в окне приняты следующие допущения:

- подпор выгружаемому потоку угля в зоне окна выгрузки (давление сопротивления перемещению выгружаемого потока) определяется давлением сопротивления перемещению тела волочения, образующегося в массиве насыпного угля, расположенного в пространстве между разгрузочным торцом шнека и бортом забойного конвейера;

- перемещение тела волочения производится равномерно, ускорением при его перемещении можно пренебречь.

Обоснованность первого допущения подтверждается комплексом экспериментальных исследований, выполненных в представительных условиях полноразмерного стенда и результатами непосредственных наблюдений в шахтных условиях.

Второе допущение основывается на практическом постоянстве линейной осевой скорости лопастей шнека, а также на учете основных свойств сыпучих тел.

Для составления математической модели введем прямоугольную систему координат $OXYZ$, начало которой расположено в плоскости разгрузочного торца шнека в точке пересечения его осью вращения шнека (рис.1). Ось X совпадает с осью вращения шнека, положительные значения координат по оси X откладываются в направлении от отрезного диска шнека к его разгрузочному торцу. Оси Y и Z расположены в плоскости разгрузочного торца шнека соответственно параллельно и перпендикулярно плоскости вынимаемого пласта. Положительные значения координат по оси Y откладываются в направлении рабочего перемещения комбайна. Положительные значения координат по оси Z откладываются в направлении от почвы к кровле пласта.

Начало отсчета угла охвата окна выгрузки $\varphi_{ок}$ определяет линия, соединяющая концы лопастей на разгрузочном торце шнека и расположенная перпендикулярно плоскости пласта. Положительное направление отсчета угла $\varphi_{ок}$ – в направлении вращения шнека.

Давление, формирующееся в зоне окна выгрузки как следствие сопротивления перемещению тела волочения, определим по зависимости

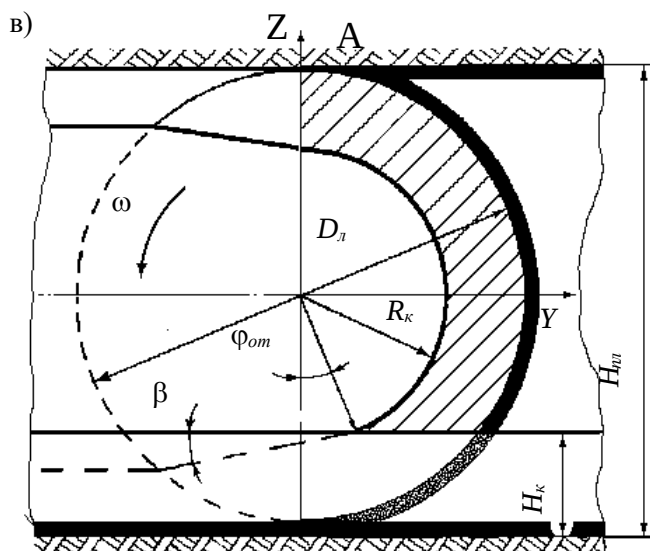
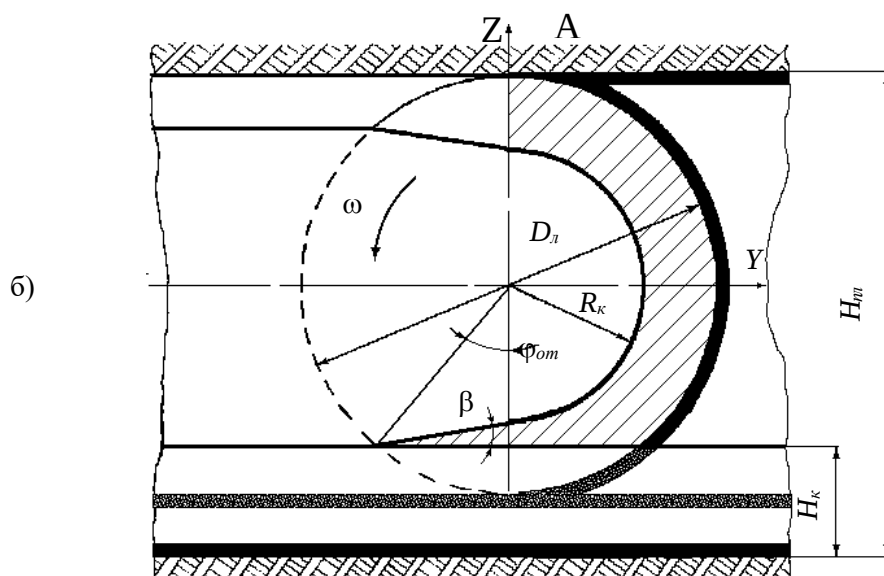
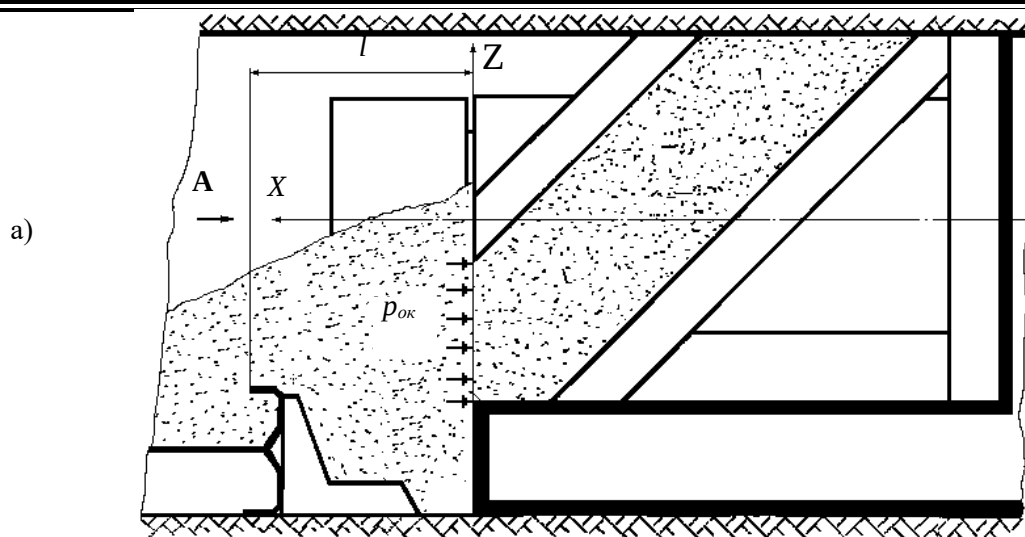


Рис.1. Расчетная схема для составления математической модели формирования сопротивления в окне выгрузки: а) вид со стороны разрушаемого забоя; б, в) вид со стороны торца шнека для различных значений угла $\varphi_{от}$

$$p_{ок}(\varphi_{ок}) = \frac{\sum F_n}{S_{ок}(\varphi_{ок})},$$

где $\sum F_n$ - сумма сил сопротивления перемещению тела волочения;
 $S_{ок}(\varphi_{ок})$ - текущее значение площади окна выгрузки.

$$\sum F_n = F_1 + F_2,$$

где F_1 - сила трения по нижней грани тела волочения;

F_2 - сила трения по боковым граням тела волочения.

Силу трения по нижней грани тела волочения представим в виде

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot S_b \cdot l \cdot \rho_y \cdot g \cdot f,$$

S_b – площадь сечения тела волочения по окну выгрузки;

l - длина тела волочения;

ρ_y - плотность насыпного угля;

g - ускорение свободного падения;

f - коэффициент трения угля по углю.

Силу трения по боковым граням тела волочения представим в виде

$$F_2 = 2 \cdot S_{\sigma} \cdot f \cdot l^{-1} \cdot \int_0^l p_{\sigma}(x) dx,$$

где S_{σ} - площадь боковой грани тела волочения.

$$S_{\sigma} = \frac{1}{2} \cdot H_b \cdot l,$$

где H_b - высота тела волочения (высота не погруженного массива угля, расположенного в пространстве между бортом забойного конвейера и разгрузочным торцом шнека).

$$H_b = l \cdot \tan \rho_{\delta},$$

где ρ_{δ} - динамический угол откоса перемещаемого потока угля.

Величина $p_{\sigma}(x)$ - боковое давление в транспортируемом теле волочения, может быть представлена в виде [256]

$$p_{\sigma}(x) = p_H(x) \cdot n_{\sigma},$$

где $p_H(x)$ - нормальное давление в транспортируемом теле волочения;

n_{σ} - коэффициент бокового давления.

Расчетная схема для определения $p_H(x)$ представлена на рис.2.

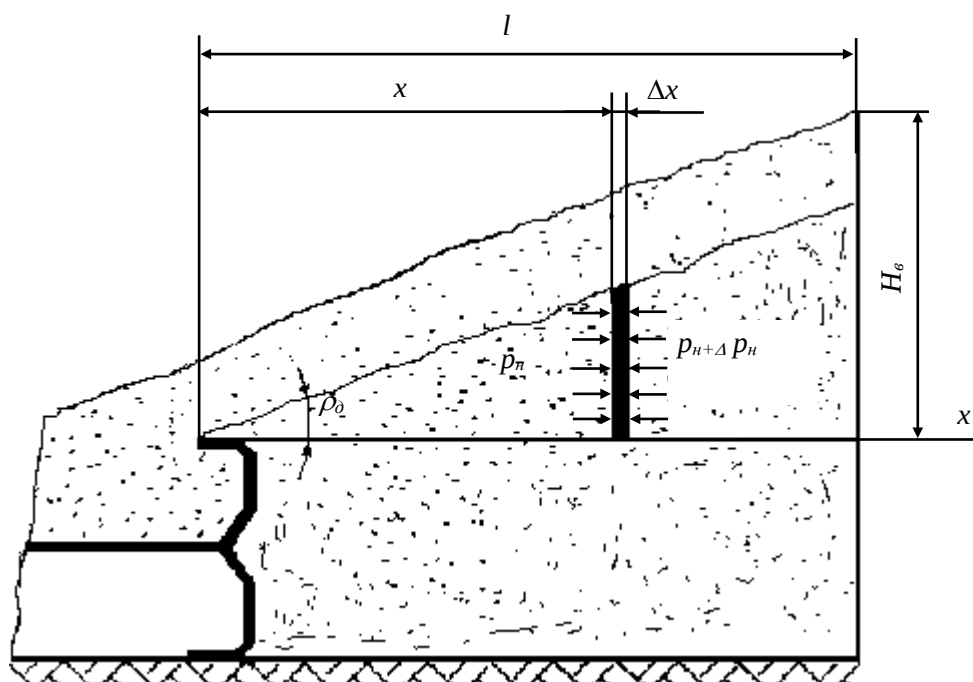


Рис.2. Расчетная схема для определения бокового давления в теле волочения

На расстоянии x от начала координат выделим элементарный слой толщиной Δx . Уравнение равновесия выделенного слоя имеет вид

$$p_H \cdot S(x) + F_{TP} = (p_H + \Delta p_H) \cdot S(x),$$

где p_H и Δp_H - соответственно нормальное давление и его прирост в транспортируемом теле волочения;

$S(x)$ - площадь выделенного элементарного слоя угля;

F_{TP} - сила трения выделенного слоя, возникающая при перемещении тела волочения.

$$F_{TP} = F_{TP}^H + F_{TP}^\delta,$$

где F_{TP}^H и F_{TP}^δ - соответственно сила трения по нижней и боковым поверхностям выделенного слоя.

$$F_{TP}^H = f \cdot \rho_y \cdot g \cdot S(x) \cdot \Delta x$$

$$F_{TP}^\delta = 2 \cdot f \cdot H(x) \cdot \Delta x \cdot p_\delta,$$

где $H(x)$ - высота выделенного слоя.

$$H(x) = x \cdot \tan \rho_d, \quad H|_{x=l} = l \cdot \tan \rho_d.$$

Выводы. Разработана расчетная схема для моделирования формирования сопротивления в окне выгрузки шнекового исполнительного органа очистных комбайнов для выемки тонких пологих пластов, учитывающая как конструктивные параметры системы выгрузки угля, так и физико-механические характеристики потока выгружаемой горной массы.

Список литературы

1. Шабаев, О. Е. Методика выбора параметров очистных комбайнов со шнеками малых диаметров применительно к заданным горно-геологическим условиям [Текст] / О. Е. Шабаев, В. Г. Нечепаяев, П. П. Зинченко // Международный научно-технический журнал «Вестник Донецкого национального технического университета». – 2020. – №3. – С. 43 – 51.
2. Нечепаяев В.Г. Расчетная схема для моделирования напряженного состояния горной массы в шнеках очистных комбайнов с активной системой выгрузки / В.Г. Нечепаяев// Инновационные перспективы Донбасса : материалы междунар. научн.-практ. конф., 23-25 мая 2022 г. Т. 3 : Инновационные технологии изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов - Донецк, 2023. -С.18-23.
3. Нечепаяев В.Г. Многопараметрическая нелинейная модель напряженного состояния горной массы в шнеках очистных комбайнов с активной выгрузкой /В.Г. Нечепаяев// Инновационные перспективы Донбасса : материалы междунар. научн.-практ. конф., 28-30 мая 2024 г. Т. 3 : Инновационные технологии изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов - Донецк, 2024. -С.109-115.

ОЦЕНКА РИСКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АГРЕГАТНОГО ЖУРНАЛА

В.А. Сидоров, Е.В. Ошовская, Ю.А. Шамрай
ФГБОУВП «Донецкий национальный технический университет»,
г. Донецк

Аннотация: В статье рассматривается подход к оценке рисков эксплуатации механического оборудования, основанный на анализе данных, содержащихся в агрегатном журнале. Агрегатный журнал, как систематизированный источник информации о работе оборудования, содержит ценные данные о его техническом состоянии, режимах эксплуатации, возникающих неисправностях и проведенных ремонтных работах.

Ключевые слова: агрегатный журнал, отказы, техническое состояние, оценка рисков.

Abstract: The article discusses an approach to assessing the risks of operating mechanical equipment based on the analysis of data contained in the aggregate log. The aggregate log, as a systematic source of information about the operation of equipment, contains valuable data on its technical condition, operating modes, emerging malfunctions, and performed repairs.

Keywords: aggregate log, failures, technical condition, risk assessment.

В современном промышленном мире, где надежность и безопасность оборудования играют ключевую роль, эффективная оценка рисков эксплуатации механического оборудования становится необходимостью. Одним из ценных источников информации для такой оценки является агрегатный журнал, содержащий данные о работе оборудования, его техническом состоянии и возникающих неисправностях. В данной статье мы рассмотрим, как использование данных агрегатного журнала может быть применено для оценки рисков эксплуатации механического оборудования и повышения его надежности.

Что такое агрегатный журнал и почему он важен?

Агрегатный журнал – это систематизированная база данных, содержащая информацию о работе конкретного механического оборудования. Он может включать в себя:

- **Данные о работе:** время работы, количество циклов, нагрузки, скорости, температуры, давления и другие параметры, характеризующие режим работы оборудования.
- **Данные о техническом обслуживании и ремонте:** даты проведения ТО, виды работ, замененные детали, результаты инспекций и диагностики.
- **Данные о неисправностях и отказах:** даты возникновения, описание неисправности, причины возникновения, принятые меры по устранению.
- **Данные о простоях:** причины простоя, продолжительность простоя.

Агрегатный журнал является ценным инструментом для:

- **Мониторинга состояния оборудования:** отслеживание изменений в параметрах работы, выявление отклонений от нормы.
- **Анализа причин неисправностей и отказов:** выявление закономерностей и факторов, приводящих к поломкам.
- **Планирования технического обслуживания и ремонта:** оптимизация графиков ТО и ремонтов на основе фактического состояния оборудования.
- **Оценки рисков эксплуатации:** выявление потенциальных угроз и разработка мер по их предотвращению.

Оценка рисков эксплуатации на основе данных агрегатного журнала

Использование данных агрегатного журнала позволяет проводить более точную и обоснованную оценку рисков эксплуатации механического оборудования. Процесс оценки рисков можно разделить на следующие этапы:

1. **Идентификация опасностей:** На этом этапе необходимо выявить все потенциальные опасности, связанные с эксплуатацией оборудования. Данные агрегатного журнала могут помочь в выявлении следующих опасностей:
 - **Отказы оборудования:** Анализ истории отказов позволяет выявить наиболее часто встречающиеся неисправности и определить узлы, наиболее подверженные поломкам.
 - **Неправильная эксплуатация:** Данные о режимах работы оборудования могут выявить случаи превышения допустимых

нагрузок, скоростей или температур, что может привести к преждевременному износу и поломкам.

- о **Некачественное техническое обслуживание:** Анализ данных о ТО и ремонтах может выявить случаи несоблюдения регламентов, использования некачественных запчастей или неквалифицированного персонала, что может повысить риск возникновения неисправностей.
2. **Оценка вероятности возникновения опасности:** На основе данных агрегатного журнала можно оценить вероятность возникновения каждой идентифицированной опасности. Например, если определенный узел оборудования часто выходит из строя, то вероятность его отказа в будущем будет выше. Для оценки вероятности можно использовать статистические методы, такие как анализ частоты отказов, анализ времени наработки на отказ (MTBF) и анализ распределения Вейбулла.
3. **Оценка тяжести последствий:** Необходимо оценить потенциальные последствия каждой опасности. Последствия могут быть различными: от незначительных повреждений оборудования до серьезных травм персонала и экологических катастроф. Данные агрегатного журнала могут помочь в оценке тяжести последствий, например, путем анализа истории предыдущих аварий и инцидентов.
4. **Определение уровня риска:** На основе оценки вероятности и тяжести последствий определяется уровень риска для каждой опасности. Существуют различные методы определения уровня риска, например, использование матрицы рисков, где вероятность и тяжесть последствий оцениваются по шкале (например, от 1 до 5), а уровень риска определяется как произведение этих оценок.
5. **Разработка мер по снижению риска:** Для каждой опасности с высоким уровнем риска необходимо разработать и внедрить меры по снижению риска. Эти меры могут включать в себя:
- о **Улучшение технического обслуживания и ремонта:** Внедрение более строгих регламентов ТО, использование качественных запчастей, повышение квалификации персонала.
 - о **Модернизация оборудования:** Замена устаревшего оборудования на более современное и надежное.
 - о **Внедрение систем мониторинга состояния оборудования:** Использование датчиков и систем анализа данных для раннего выявления признаков неисправностей.

- **Обучение персонала:** Проведение инструктажей и тренингов по безопасной эксплуатации оборудования.
 - **Внедрение систем блокировки и сигнализации:** Установка систем, предотвращающих работу оборудования в опасных режимах.
 - **Разработка планов действий в чрезвычайных ситуациях:** Подготовка персонала к действиям в случае возникновения аварий и инцидентов.
6. **Мониторинг и пересмотр оценки рисков:** Оценка рисков должна быть динамическим процессом. Необходимо регулярно мониторить эффективность внедренных мер по снижению риска и пересматривать оценку рисков на основе новых данных, полученных из агрегатного журнала и других источников.

Примеры использования данных агрегатного журнала для оценки рисков:

- **Пример 1: Подшипники насоса.** Анализ данных агрегатного журнала показывает, что подшипники насоса часто выходят из строя через короткий промежуток времени после замены. Это может указывать на проблемы с качеством подшипников, неправильную установку или недостаточную смазку. На основе этой информации можно принять меры по улучшению качества подшипников, обучению персонала правильной установке и оптимизации графика смазки.
- **Пример 2: Редуктор конвейера.** Данные агрегатного журнала показывают, что редуктор конвейера часто работает с перегрузкой. Это может привести к преждевременному износу и поломке редуктора. На основе этой информации можно принять меры по снижению нагрузки на конвейер, оптимизации его работы или замене редуктора на более мощный.
- **Пример 3: Гидравлическая система пресса.** Анализ данных агрегатного журнала показывает, что в гидравлической системе пресса часто возникают утечки масла. Это может привести к снижению эффективности работы пресса, загрязнению окружающей среды и возникновению пожара. На основе этой информации можно принять меры по устранению утечек, замене изношенных уплотнений и улучшению системы контроля за уровнем масла.
-

Преимущества использования данных агрегатного журнала:

- **Более точная и обоснованная оценка рисков:** Использование фактических данных о работе оборудования позволяет проводить более точную и обоснованную оценку рисков, чем использование экспертных оценок или общих статистических данных.
- **Раннее выявление потенциальных проблем:** Анализ данных агрегатного журнала позволяет выявлять признаки неисправностей на ранней стадии, что позволяет предотвратить серьезные поломки и аварии.
- **Оптимизация технического обслуживания и ремонта:** Использование данных агрегатного журнала позволяет оптимизировать графики ТО и ремонтов, снизить затраты на обслуживание и повысить надежность оборудования.
- **Повышение безопасности персонала:** Снижение риска возникновения аварий и инцидентов повышает безопасность персонала, работающего с оборудованием.
- **Соответствие требованиям законодательства:** Использование данных агрегатного журнала для оценки рисков помогает соответствовать требованиям законода
- **Выводы**
 - Оценка рисков эксплуатации механического оборудования на основе данных агрегатного журнала является эффективным инструментом, позволяющим повысить надежность и безопасность производственных процессов. Использование данных агрегатного журнала позволяет:
 - **Идентифицировать потенциальные риски:** Выявлять слабые места в работе оборудования и прогнозировать возможные отказы.
 - **Оптимизировать техническое обслуживание и ремонт:** Планировать работы по техническому обслуживанию и ремонту на основе фактического состояния оборудования, а не на основе регламентных сроков.
 - **Снизить затраты:** Сократить затраты на проведение диагностических мероприятий и технического обслуживания, а также уменьшить потери от простоев оборудования.
 - **Повысить безопасность:** Предотвратить аварийные ситуации и несчастные случаи, связанные с эксплуатацией оборудования.
- **Список литературы**
 1. Александров, В.В. Оценка и управление рисками промышленных предприятий / В.В. Александров. – М.: Альпина Паблишер, 2017. – 256 с.
 2. Белов, П.Г. Управление рисками: учебное пособие / П.Г. Белов. – М.: Академия, 2009. – 240 с.

**Инновационные технологии проектирования, изготовления и
эксплуатации промышленных машин и агрегатов**

3. Грабовый, П.Г. Риски в современном бизнесе / П.Г. Грабовый, С.Н. Петренко, Г.С. Романова. – М.: Аланс, 1994. – 200 с.
4. Дюстердик, Д. Анализ рисков и надежность механических систем / Д. Дюстердик, В. Янг. – М.: Техносфера, 2011. – 368 с.
5. Емельянов, А.А. Системный анализ в управлении: учебное пособие / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Скрябина. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
6. Клейнер, Г.Б. Системная парадигма и экономическая политика / Г.Б. Клейнер. – М.: ЦЭМИ РАН, 2018. – 87 с.
7. Козлов, В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений: учебник / В.Н. Козлов. – М.: Проспект, 2018. – 208 с.
8. Кузнецов, В.С. Надежность и диагностика механического оборудования / В.С. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 2005. – 352 с.
9. Лебедев, В.Г. Управление рисками: учебное пособие / В.Г. Лебедев. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2004. – 288 с.
10. Ребрик, С.Б. Управление рисками в технике / С.Б. Ребрик. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 304 с.
11. Венда, В.Ф. Инженерная психология и надежность в эксплуатации авиационной техники / В.Ф. Венда. – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ В ШНЕКАХ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

В.Г. Нечепаев

ФГБОУВП «Донецкий национальный технический университет»,
г.Донецк

Выполнена математическая формализация для моделирования процесса формирования давления в потоке угля, выгружаемого опережающим шнеком системы пассивной и активной выгрузки очистных комбайнов для выемки тонких пологих пластов.

Ключевые слова: *очистной комбайн, шнек, исполнительный орган, давление, поток.*

Mathematical formalization completed for modeling of the pressure formation process in the coal stream discharged by the advanced auger of the passive and active unloading system of cutter-loader of thin seams layers has been developed

Keywords: *cutter-loader, screw, executive branch, pressure, flow.*

Для определения рациональных параметров шнековых очистных комбайнов, работающих в условиях тонких пологих пластов, необходимо определение закономерностей формирования напряженного состояния горной массы в их исполнительных органах [1].

С этой целью разработана многопараметрическая нелинейная модель формирования давления в потоке выгружаемой горной массы, формализующая изменение нормального давления в рабочем пространстве шнека в зависимости от угла его поворота, конструктивных и режимных параметров системы выгрузки, физико-механических характеристик разрушенного угля, а также давления дополнительного активирующего воздействия на поток [2,3].

Основой модели являются выражения

$$P_H = \frac{(\cos \varphi)^{a_2}}{\exp(a_3 \cdot \varphi)} \cdot \int \left[-\frac{a_1}{\cos \varphi} \cdot \exp[(-a_2 \cdot \ln(\cos(\varphi)) + a_3 \cdot \varphi)] d\varphi + \right. \\ \left. + \cos \varphi^{a_2} \cdot [\exp(a_3 \cdot \varphi)]^{-1} \cdot C. \right. \quad (1)$$

$$p_{\pi} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r \cdot n_{\min} \cdot (R \cdot k_v^{R2} \cdot f_{R2} - r \cdot k_v^r \cdot f_r) \cdot \sin^2 \alpha}{(f_{\pi} \cdot \sin \alpha - \cos \alpha) \cdot (R^2 - r^2)} \cdot p_H +$$

$$+ \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sin^2 \alpha}{(f_{\pi} \sin \alpha - \cos \alpha) \cdot (R + r)} \cdot \frac{dp_H}{d\varphi} \quad (2)$$

$$a_1 = \frac{\rho_y \cdot g}{2} \cdot (R + r) \cdot (\cos \alpha - f_{\pi} \cdot \sin \alpha);$$

$$a_2 = \frac{n_{\min}}{R - r} \cdot (k_v^r \cdot r - k_v^{R2} \cdot R) \cdot (\cos \alpha - f_{\pi} \cdot \sin \alpha);$$

$$a_3 = \frac{n_{\min}}{R - r} \cdot [\cos(\alpha) \cdot (k_v^r r f_r - k_v^{R1} R f_{R1}) (\cos(\alpha) - f_{\pi} \sin(\alpha)) +$$

$$+ \sin \alpha \cdot (k_v^r \cdot r \cdot f_r - k_v^{R2} \cdot R \cdot f_{R2}) \cdot (\sin \alpha - f_{\pi} \cdot \cos \alpha)] \quad (3)$$

Зависимость (1) является многопараметрической функцией, по своей физической сути описывающей изменение нормального давления в потоке перемещаемого и выгружаемого угля в зависимости от:

- угла охвата шнека;
- конструктивных параметров шнека – наружного диаметра лопасти, диаметра обечайки, угла подъема лопастей и др.;
- режимного параметра – частоты вращения шнека;
- физико - механических характеристик транспортируемой сыпучей среды – плотности, коэффициентов трения по рабочим поверхностям шнека и по неразрушенному забою, коэффициента внутреннего трения;
- силы распределенного гидродинамического воздействия.

Выражение (2) позволяет определять изменение давления на рабочих поверхностях лопастей шнеков как функцию вышеперечисленных величин.

В уравнениях (1-3) приняты следующие обозначения:

- f_R - коэффициент трения разрушенного угля по не разрушенному забою

(f_{R1} - коэффициент трения покоя; f_{R2} - коэффициент трения движения);

- f_r - коэффициент трения разрушенного угля по ступице шнека;

- p_{π} - давление на выделенный слой со стороны лопасти;

- f_{π} - коэффициент трения разрушенного угля по лопасти шнека;

- ρ_y - плотность транспортируемого угля;

- g - ускорение свободного падения;

- $n_{\min}$ - коэффициент бокового давления;

- k_v^r и k_v^R - коэффициенты, отражающие влияние скорости относительного движения (скольжения) выделенного слоя соответственно по

ступице шнека и по наружному диаметру лопасти;

- α угол подъема лопастей шнека на радиусе r (соответствует ступице шнека);

- R - наружный радиус лопасти шнека;

r - радиус ступицы шнека;

- φ - угол охвата шнека.

Анализ выражений (1-3) и их графической интерпретации (рис.1-3) позволил установить основные закономерности формирования и изменения давления в выгружаемом потоке и сделать следующие выводы. Для удобства анализа на графиках (рис.1-3) приведены значения проекции $p_{но}$ нормального давления p_n на ось вращения шнека.

1. Давление в потоке выгружаемого угля является существенно нелинейной функцией угла охвата шнека (в пределах его изменения $\varphi = -0,5\pi \dots + 0,5\pi$), возрастающей в направлении, противоположном направлению вращения шнека – от кровли пласта к его почве (рис.1-3). Эта закономерность имеет место для систем как пассивной, так и активной выгрузки во всем возможном диапазоне изменения параметров модели. Причем мера нелинейности возрастает с увеличением дополнительного распределенного активирующего воздействия $p_{2д}$ при прочих равных режимных, конструктивных и др. параметрах (рис.1).

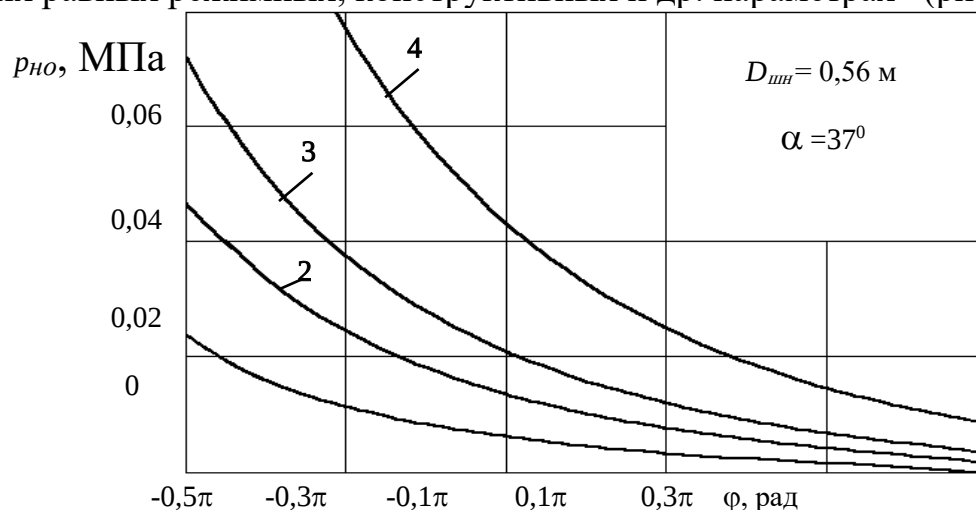


Рис. 1. Графики изменения давления в потоке как функции угла охвата шнека при различных значениях давления активирующего силового воздействия $p_{2д}$:

1) $p_{2д} = 0$; 2) $p_{2д} = 0,003 \text{ МПа}$; 3) $p_{2д} = 0,006 \text{ МПа}$; 4) $p_{2д} = 0,015 \text{ МПа}$

2. Приложение распределенного активирующего воздействия (давления $p_{2д}$) к потоку выгружаемого угля в окрестностях точки $\varphi \approx +0,5\pi$ обуславливает для систем активной выгрузки возрастание давления в

потоке в окрестностях точки $\varphi = -0,5\pi$ на величину $(6...8)p_{zd}$ (рис.1). При этом давление $p_{но}$ в выгружаемом потоке угля в пределах изменения угла охвата $\varphi = -0,5\pi \dots + 0,5\pi$ является практически линейной (рис.2) функцией давления дополнительного распределенного активирующего воздействия p_{zd} . Это обстоятельство обуславливает возможность эффективного управления в системах активной выгрузки значением давления в выгружаемом потоке угля за счет создания и изменения его подпора в зоне вращательного переноса. Наиболее эффективно применение подпора в зоне, соответствующей значению угла $\varphi \approx +0,5\pi$.

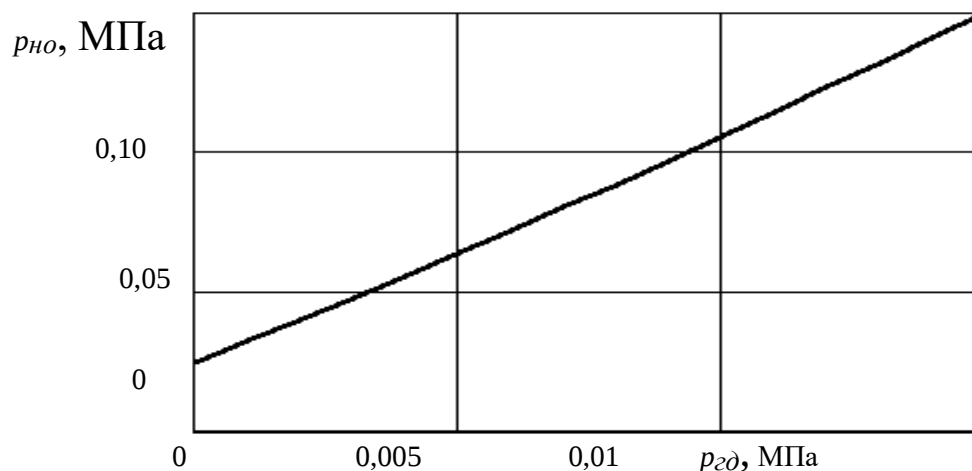


Рис. 2. График изменения давления в потоке выгружаемого угля в окрестностях точки $\varphi = -0,5\pi$ как функция давления распределенного активирующего воздействия

Весьма важное практическое значение имеет следующее свойство системы активной выгрузки – она позволяет осуществлять наибольшее повышение давления в той части выгружаемого потока угля, которая располагается в нижней части окна выгрузки (соответствующей значению угла охвата $\varphi = 0 \dots - 0,5\pi$).

3. Изменение частоты вращения шнека n оказывает незначительное влияние на значение давления p_n (рис.3), что свидетельствует о небольшом вкладе скоростной составляющей в формирование силы давления по сравнению с другими составляющими, определяющими ее значение. В наибольшей мере влияние частоты вращения на формирующееся в выгружаемом потоке угля давление проявляется в диапазоне изменения угла охвата шнека $-0,5\pi \dots -0,3\pi$, а характер изме-

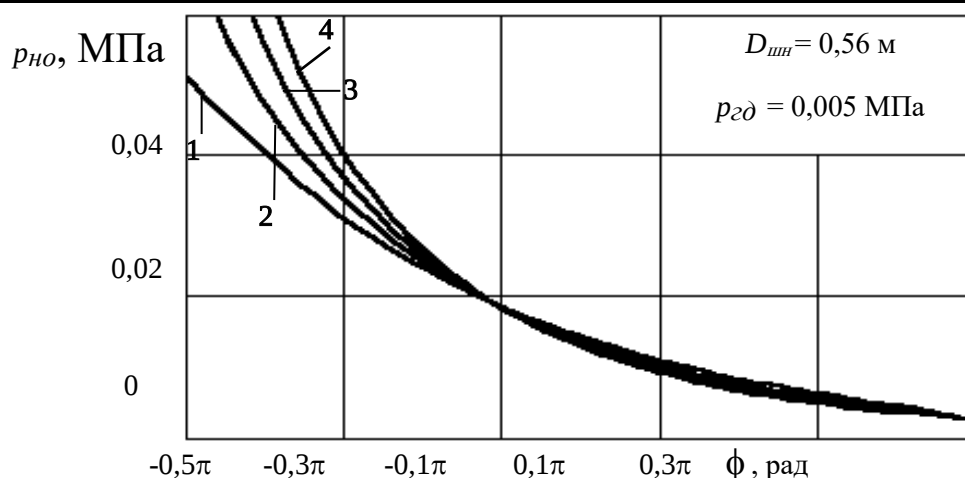


Рис. 3. Графики изменения давления в потоке как функции угла охвата шнека при различных значениях частоты вращения шнека n : 1) $n = 60$ об/мин; 2) $n = 80$ об/мин; 3) $n = 100$ об/мин; 4) $n = 120$ об/мин

нения p_n свидетельствует о том, что модель качественно верно учитывает скоростную составляющую силы давления.

Выводы. Разработанные модели формирования давления в потоке выгружаемой горной массы являются многопараметрическими нелинейными моделями, отражающими изменение нормального давления в рабочем пространстве шнека в зависимости от угла его поворота, конструктивных и режимных параметров системы выгрузки, физико-механических характеристик разрушенного угля, а также давления дополнительного активирующего воздействия на поток горной массы.

Список литературы

1. Шабает, О. Е. Методика выбора параметров очистных комбайнов со шнеками малых диаметров применительно к заданным горно-геологическим условиям [Текст] / О. Е. Шабает, В. Г. Нечепает, П. П. Зинченко // Международный научно-технический журнал «Вестник Донецкого национального технического университета». – 2020. – №3. – С. 43 – 51.
2. Нечепает В.Г. Расчетная схема для моделирования напряженного состояния горной массы в шнеках очистных комбайнов с активной системой выгрузки / В.Г. Нечепает// Инновационные перспективы Донбасса : материалы междунар. научн.-практ. конф., 23-25 мая 2022 г. Т. 3 : Инновационные технологии изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов - Донецк, 2023. -С.18-23.
3. Нечепает В.Г. Многопараметрическая нелинейная модель напряженного состояния горной массы в шнеках очистных комбайнов с активной выгрузкой /В.Г. Нечепает// Инновационные перспективы Донбасса : материалы междунар. научн.-практ. конф., 28-30 мая 2024 г. Т. 3 : Инновационные технологии изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов - Донецк, 2024. -С.109-115.