



XX

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Современные проблемы горно-металлургического
комплекса. Наука и производство»

ТОМ I

г. Старый Оскол, 2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова
(филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

**XX ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА. НАУКА И ПРОИЗВОДСТВО»**

21 декабря 2023 г.

г. Старый Оскол

Редакционная коллегия:

Боева Анна Вячеславовна – директор СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.п.н.

Кожухов Алексей Александрович – заместитель директора по науке и инновациям СТИ НИТУ «МИСИС», доц., д.т.н.

Полева Наталья Вячеславовна – заместитель директора по учебно-методической работе СТИ НИТУ «МИСИС», проф., д.э.н.

Полева Наталья Анатольевна – заместитель директора по молодежной политике СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.э.н.

Полещенко Дмитрий Александрович – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.т.н.

Сазонов Александр Васильевич – и.о. декана факультета металлургии и машиностроительных технологий, зав. кафедрой физики и химии СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.т.н.

Востокова Светлана Николаевна – декан инженерно-экономического факультета СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.п.н.

Рецензенты:

Боева Анна Вячеславовна – директор СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.п.н.

Кожухов Алексей Александрович – заместитель директора по науке и инновациям СТИ НИТУ «МИСИС», доц., д.т.н.

Ильичева Елена Вячеславовна – заместитель директора по учебно-методической работе СТИ НИТУ «МИСИС», проф., д.э.н.

Полева Наталья Анатольевна – заместитель директора по молодежной политике СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.э.н.

Полещенко Дмитрий Александрович – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.п.н.

Сазонов Александр Васильевич – и.о. декана факультета металлургии и машиностроительных технологий, зав. кафедрой физики и химии СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.т.н.

Востокова Светлана Николаевна – декан инженерно-экономического факультета СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.п.н.

Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы двадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Том I), 21 декабря 2023 г. / Ред. коллегия: А.В. Боева, А.А. Кожухов, Е.В. Ильичева, Н.А. Полева, Д.А. Полещенко, А.В. Сазонов, С.В. Востокова. – Старый Оскол, 2024. – 577 с.

Сборник материалов Двадцатой Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство» (Том I).

Материалы публикуются в авторской редакции.

СЕКЦИЯ 1 «МЕТАЛЛУРГИЯ»

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОГРАФИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ

Болгова Т.С.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (Оскольский политехнический колледж),
Россия, Старый Оскол, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42
bolgova.tanya@mail.ru*

***Аннотация.** В данной статье раскрыта современная география черной металлургии. Выявлена причина широкомасштабной реконструкции и модернизации ряда предприятий черной металлургии за последние годы. Важными изменениями можно назвать: сооружение более мощных домен в доменном производстве, отказ от бессемеровского и мартеновского процесса выплавки стали; отказ от морально устаревшего оборудования по разливу стали.*

Ключевые слова: черная металлургия; железо; сталь; чугун; мировое хозяйство; металлы; экологическая безопасность.

MODERN GEOGRAPHY OF FERROUS METALLURGY AND ITS MODERNIZATION IN RECENT YEARS

Bolgova T.S.

*Oskol Polytechnic College of the Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»
Russia, Stary Oskol*

***Abstract.** This article reveals the modern geography of ferrous metallurgy. The reason for the large-scale reconstruction and modernization of a number of ferrous metallurgy enterprises in recent years has been revealed. Important changes include: the construction of more powerful blast furnaces in blast furnace production, the abandonment of the Bessemer and open-hearth steel smelting process; the abandonment of obsolete steel bottling equipment.*

Keywords: ferrous metallurgy; iron, steel; cast iron; world economy; metals; environmental safety.

Черная металлургия всегда была и останется основой всей металлургии. Железо, которое является готовой продукцией отрасли, известное нам как чугун, сталь и прокат из нее навсегда останутся массовым материалом потребления во всем мировом хозяйстве. Металл давно вытеснил из строительной индустрии древесину, соперничая лишь с цементом, иногда объединяясь с ним в союз – железобетон. Конечно, строительный мир не стоит на одном месте, и сейчас активно внедряется в строительство такие материалы, как полимер и керамика. Однако, пока что, железо не собирается сдавать свои позиции и держится на торговом рынке лидером продаж.

Говоря о металлургии XXI века, стоит отметить то, что до начала XX века она была очень слабо развита. Основными странами-поставщиками металла на рынок в начале XX века являлись США, Великобритания, Германия и Бельгия. Эти страны поставляли на рынок металлов более 83% от всего товара на рынке. Со временем, после Второй мировой войны, началось активное освоение металлургического комплекса рядом развитых и развивающихся стран. В последнее время мы отчетливо видим тенденция перемещения производства черных металлов из развитых стран в развивающиеся. [2]

Черные металлы применяются во многих областях промышленности, но больше всего особым спросом они пользуются в машиностроительной промышленности. Металлы сами по себе предоставляют возможности для своего эффективного использования, при этом расширяя их, в частности благодаря покрытию стальных изделий полимерными пленками и металлами (цинком и оловом), что повышает устойчивость их иммунитета к коррозии.

Черная металлургия сильно зависит от многих других отраслей народного хозяйства. Ее сырьевая база — продукция горнодобывающей промышленности (железная руда, известняки, огнеупоры), топливной (коксующийся уголь, природный газ) и электроэнергетика.

Кроме этого, цветная металлургия – смежная черной металлургии, обеспечивает ее поставкой легирующих компонентов необходимых для разнообразных сплавов. Народное хозяйство является основным инструментом получения лома и других отходов для их вторичного использования в металлургических переделах.

Производство черных металлов, их добыча и переработка сырья составляют большую опасность для экологии. Выброс газов в атмосферу и загрязнение водоемов – это еще не верхушка айсберга. Большим ударом для экосистемы является наличие отходов от производства, причем отходы невозможно утилизировать.

На сегодняшний день, с экономической точки зрения, черная металлургия является одной из мало доходных отраслей обрабатывающей промышленности. Больших вложений капиталов требует развитие всех производств черной металлургии, что обусловлено

технологией выпускаемой продукции – большими объемами производства, дороговизной оборудования, финансовыми затратами на его амортизацию и созданием огромной сети заводской инфраструктуры, отвечающей современным требованиям. Затраты предприятий на обеспечение экологической чистоты работы металлургического предприятия могут достигать до 20 % общих капиталовложений.

В настоящее время требования к экологической безопасности в современных условиях все больше ужесточаются. Как известно, вложенные капиталы в большое производство возвращаются намного медленнее, чем в средний бизнес. Таким образом, находится слишком мало инвесторов, готовых вложить свои деньги в развитие черной металлургии. Несмотря на свою значимую роль в индустрии любой страны, удельный вес черной металлургии, как правило, не превышает 4-7 %. [1]

В настоящее время, собственники металлургических заводов не жалеют денег на поиск способов повышения эффективности производства за счет внедрения новых видов оборудования, развитие более совершенных технологий во всех процессах производства, компьютеризация процессов производства, особенно в доменном и прокатном переделе.

Заметим, что главной причиной по которой происходит внедрение научно-технологического прогресса, является снижение затрат на производство, путем его модернизации. Как показывает мировая практика, главным путем повышения рентабельности производства, является изменение отраслевой и территориальной структуры черной металлургии, отказ от традиционного комбинирования отдельных производств, повешение уровня их специализации, и, следовательно, сокращение за этот счет величины предприятий и объемов выпускаемой продукции. Вся эта деятельность направлена на большие перестановки, не только на межрегиональном уровне, но и порой влечет за собой межстрановые и внутривосточные сдвиги в размещении самой отрасли и ее производств.

В процессах облагораживания железной руды главным на сегодняшний день заданием является получение металлизированных окатышей, что заметно улучшает качество руды для выплавки чугуна. А благодаря внедрению метода прямого восстановления из металлизированных окатышей железа стало возможным вообще отказаться от доменного производства.

Широкое распространение и внедрение в процессы производства в сталеплавильной промышленности получила высокоэффективная кислородно-конвертерная выплавка металла, непрерывная разливка стали. Особое значение в прокатном переделе получил «четвертный передел», значительно повышающий качество конечной продукции для черной металлургии. Заметно сказались внедрение инновационных процессов на все уровни организации отрасли, прежде всего предприятий, таким образом, воздействовал и на другие отрасли народного

хозяйства. Так в результате этих нововведений упростилась перевозка сырья морским транспортом, и привело к большому территориальному разрыву между базами по добыче сырья и предприятиями-потребителями. Получение проката высокого качества, с высокой точностью размеров во множество раз количество потребителей данной продукции, особенно в машиностроительной отрасли.

Большой спрос на продукцию черной металлургии со стороны всех отраслей мирового хозяйства привел к значительному увеличению номенклатуры продукции отрасли. Так, если в настоящее время насчитывается около десятков сортов и марок чугуна, то разновидность стали включает в себя несколько тысяч видов. Количество изделий прокатного производства в развитых странах достигает несколько десятков тысяч видов и размеров. Это привело к необходимости выпуска продукции в сравнительно небольших объемах на узкоспециализированных предприятиях «четвертого передела» и интенсивному внешнеторговому обмену такими видами продукции между многими странами. [3]

Так изменения в технологиях производства, типах используемого оборудования, характера спроса на продукцию отрасли привели к широкомасштабной реконструкции и модернизации на ряде предприятий. Выделим следующее из них: в доменном производстве сооружение гораздо более мощных домен; в сталелитейном производстве полностью пришлось отказаться от бессемеровского и мартеновского процессов выплавки стали и отказаться от морально устаревшего оборудования по разливу стали.

Все это и привело к формированию нового состава предприятий. Традиционное для этой отрасли комбинирование производства всех металлургических переделов стало испытывать все большее воздействие процессов специализации металлургических заводов. Создание мини – и мидизаводов производственной мощностью в 0,1 – 1,0 млн. т. металлопродукции в год привело к гибели крупных заводов. Ничего удивительного при состоянии нынешней мировой экономике в этом нет. Так предприятия малой и средней мощности требуют намного меньше капиталовложений, более коротких сроков строительства завода, простой инфраструктуры, число людей, работающих на предприятии намного меньше, стало возможным внедрение автоматизирование основных производственных процессов и создании более благоприятных экологических условий производства. В основном узкоспециализированные заводы неполного металлургического цикла вырабатывают качественные стали и разнообразный сложный прокат. Они для своих электродуговых печей обычно используют ресурсы местного металлолома, а выпускаемый ими прокат высокой стоимости расходуется в стране и за ее пределами.

В развитии черной металлургии специалисты выделяют несколько основных тенденций:

- закрытие производства в ряде стран с повышением цен на сталь и сырье; использование неполного цикла в производстве продукции;
- изменение направления потоков сырья и готовой продукции – металлургические центры необходимо создавать вблизи сырья, а также в районах, потребляющих большое количество металлов;
- появление новых металлургических компаний требует изменения структуры мировой металлургии из-за обострения конкуренции внутри отрасли;
- возникновение дисбаланса отношений между покупателем и поставщиком руды в результате высокой рыночной концентрации в области производства железной руды и стальной индустрией;
- оказание производителями стали слабого влияния на рыночные цены своей продукции, что не дает возможности прогнозировать денежные потоки;
- использование непрерывных процессов производства металлопродукции с целью усиления экологизации производства.

Таким образом, развитие черной металлургии имеет главную цель – удовлетворить внутренний и мировой спрос на металлопродукцию необходимого качества и необходимого объема. Причина широкомасштабной реконструкции и модернизации ряда предприятий черной металлургии заключается в изменении технологии производства, в типах используемого оборудования и характере спроса на продукцию отрасли.

Высокая значимость металлургического производства в мировой экономике в настоящее время обусловлена тем, что оно оказывает влияние на ведущие отрасли промышленности, такие, как оборонная, транспортное и тяжелое машиностроение, энергетика, строительство; черные металлы и изделия из них занимают одно из важнейших мест в структуре мирового экспорта; отрасль играет роль активного агента интеграции экономик развитых и развивающихся стран в мировые хозяйственные процессы и структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин С.З. Перспективы развития черной металлургии [Электронный ресурс]. 2017. URL:<https://clck.ru/FZ7cq> (дата обращения: 30.11.2023).
2. Буданов И.А. Металлургический комплекс России [Электронный ресурс]// Полная энциклопедия для школьников и студентов. 2018. URL: <https://clck.ru/FZ7ca> (дата обращения: 30.11.2023)
3. Чёрная металлургия России [Электронный ресурс] / под ред. Л.Н. Шевелева. 2018. URL:<https://clck.ru/FZ7d7> (дата обращения: 30.11.2023).

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ НЕПРЕРЫВНОГО СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОСЫ

Бредихин Д.С., Кузнецов А.С., Соловьёв В.Н.

ФГБОУВО Липецкий государственный технический университет, Россия, Липецк

ssvytogor@mail.ru +7 906-593-88-78

andryushenka.kuznetsov.2012@mail.ru +7-915-553-03-91

solovyovvn@mail.ru +7-910-350-23-05

Аннотация. В ходе выполнения научно-исследовательской работы собрана информация о работе прокатного стана за период в 1,5 года. На основании статистики было установлено, что самой аварийной является клеть № 4.

Ключевые слова: непрерывный стан холодной прокатки; рабочий валок; перевалка.

ANALYSIS OF THE OPERATION OF WORK ROLLERS OF THE CONTINUOUS COLD ROLLING MILL OF STRIP

Bredikhin D.S., Kuznetsov A.S., Solovyov V.N.

Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk

Abstract. During the research work, information was collected on the operation of the rolling mill for a period of 1.5 years. Based on statistics, it was found that cage No. 4 is the most dangerous.

Keywords: continuous cold rolling mill; work roll; transshipment.

Длительность эксплуатации рабочих валков оказывает существенное влияние на качество проката и экономическую эффективность использования прокатного стана. Большой срок эксплуатации рабочих валков может не обеспечить требуемого качества проката и приведет к частым внеплановым перевалкам. Малый срок эксплуатации валков неполностью использует имеющийся ресурс валка по наработке и негативно сказывается на экономической эффективности использования прокатного стана. Оптимальным является срок эксплуатации валков, при котором число внеплановых перевалок минимально.

Оценка необходимости коррекции сроков перевалок рабочих валков проведена по результатам эксплуатации рабочих валков непрерывного пятиклетевого стана холодной прокатки. Сформирована общая выборка по перевалкам клетей стана.

Произведён отсев данных о перевалках рабочих валков, которые содержали какую-либо недостоверную, ошибочную информацию о завалках и вывалках рабочих валков из прокатных клетей. Так же из рассмотрения были исключены хромированные валки ввиду малой частоты их использования на стане

Общая выборка данных разделена на выборки по номерам прокатных клетей – с 1 по 5. Внутри выборок проведена сортировка данных по датам завалок рабочих валков.

Для каждой прокатной клетки рассчитано:

- общее количество перевалок;
- количество плановых перевалок без появления дефектов валков;
- количество внеплановых (аварийных) перевалок.

В таблице 1 приведены данные о количестве и доле перевалок для каждой прокатной клетки. На рисунке 1 представлена гистограмма распределения внеплановых перевалок по клетям стана. Из гистограммы видно, что наиболее часто внеплановые перевалки производились в клетки № 4.

Таблица 1 – Количество перевалок для каждой прокатной клетки

Номер клетки	Общее количество перевалок рабочих валков	Количество плановых перевалок рабочих валков, шт. (%)	Количество внеплановых перевалок рабочих валков, шт. (%)
1	781	724 (92,7)	57 (7,3)
2	819	725 (88,52)	94 (11,48)
3	897	755 (84,17)	142 (15,83)
4	1085	794 (73,18)	291 (26,82)
5	1161	919 (79,16)	242 (20,84)

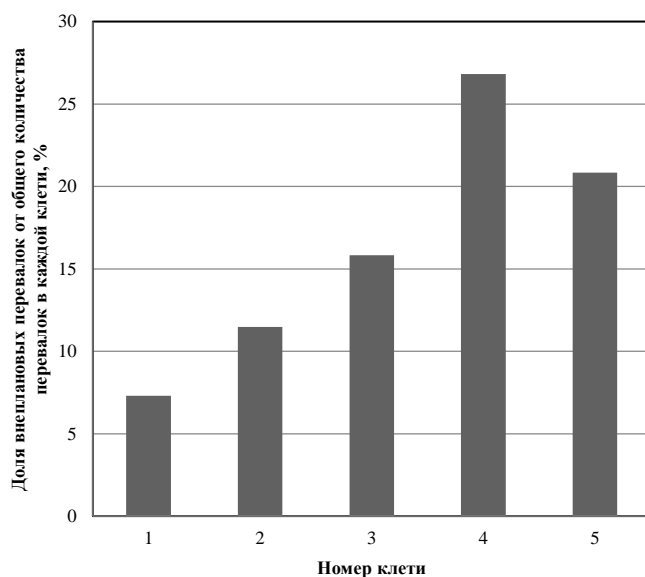
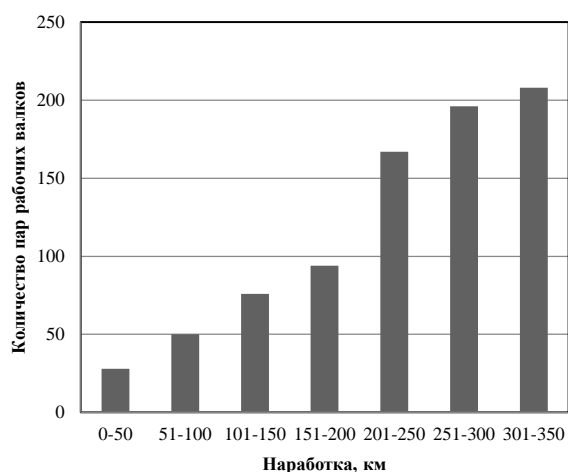
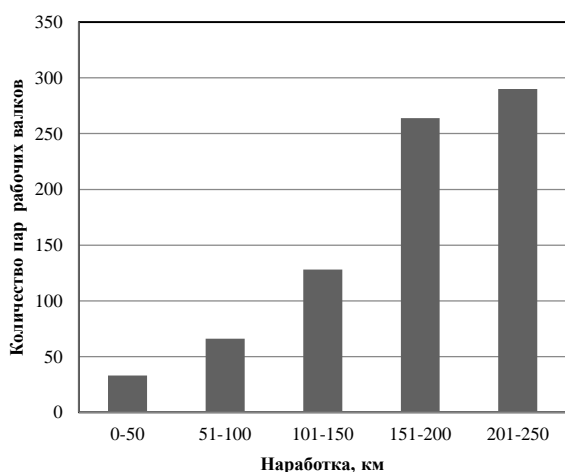
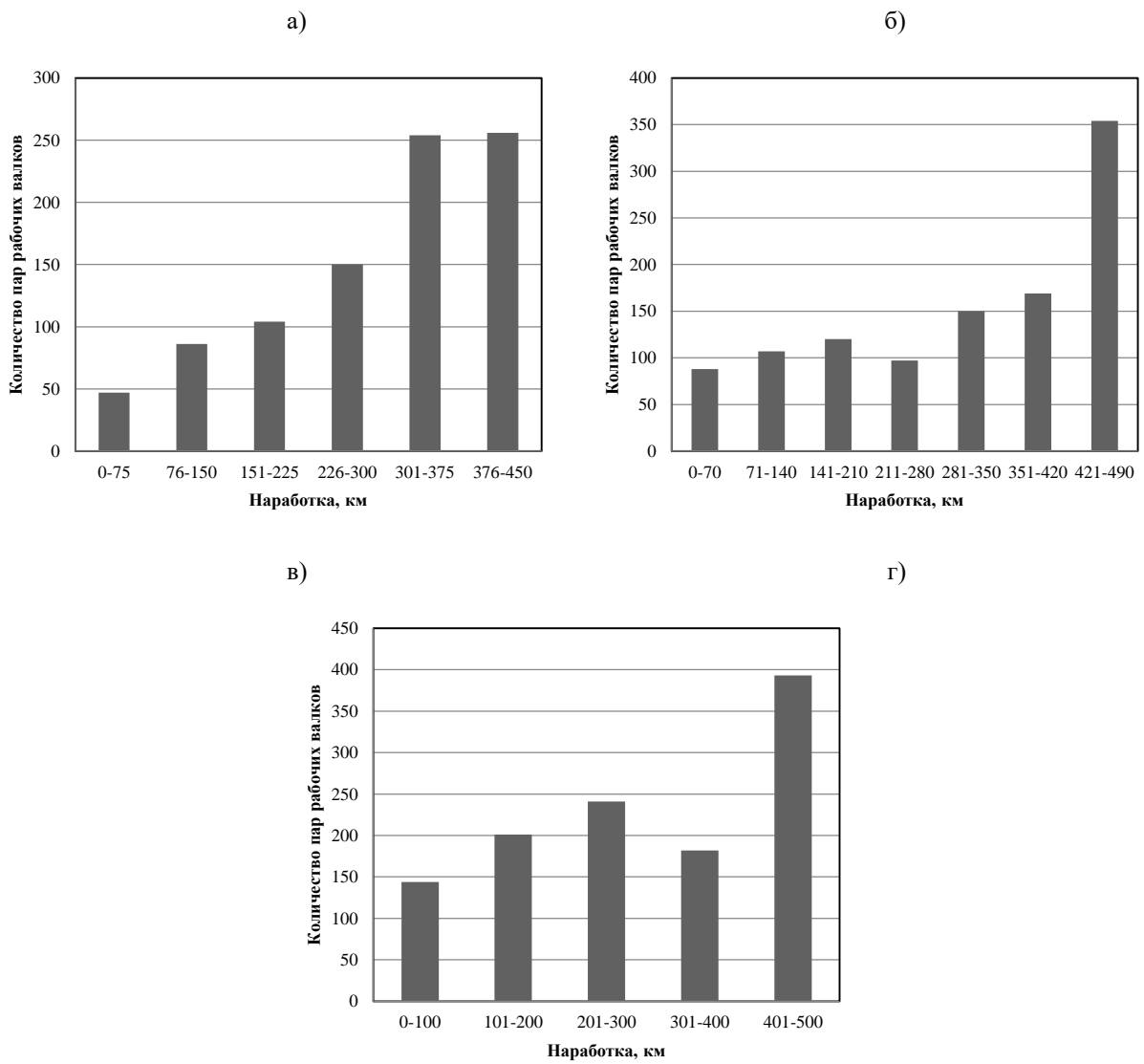


Рис. 1 – Распределение внеплановых перевалок по клетям стана

Для каждой прокатной клетки стана установлен регламент перевалок рабочих валков. Регламент установлен в виде длины прокатанных полос, выраженный в километрах. В рамках исследования для каждой клетки рассмотрена фактическая наработка валков (рисунок 2).

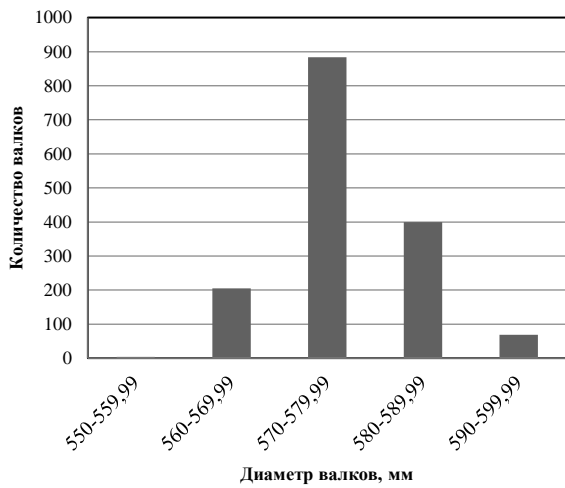




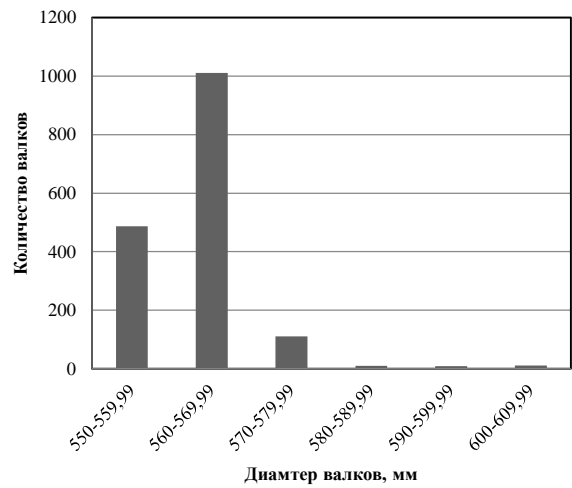
д)

Рис. 2 – Распределение рабочих валков по величине наработки в клетях 1-5

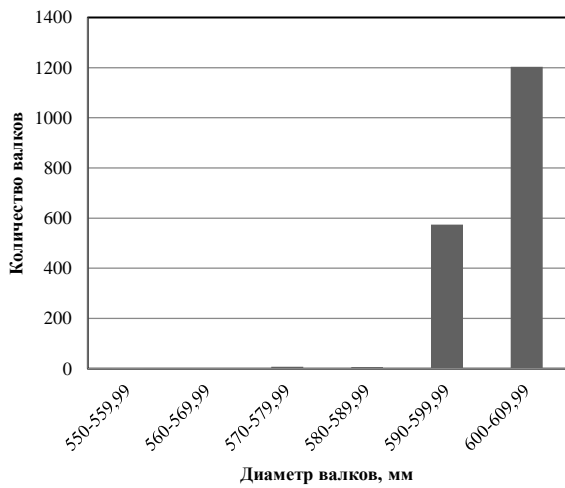
На износ валков оказывает влияние твердость валков. Твердость поверхности валков уменьшается с уменьшением диаметра в результате перешлифовки. Поэтому по каждой клети рассмотрено использование валков по диаметрам (рисунок 3).



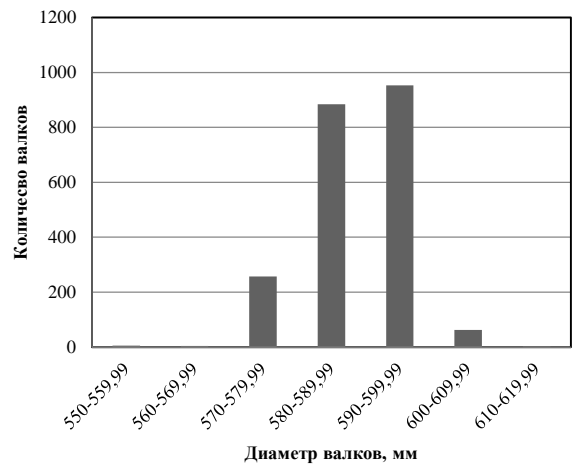
а)



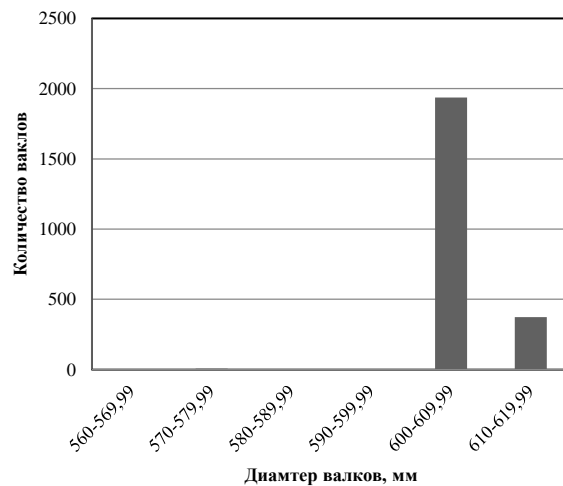
б)



в)



г)



д)

Рис. 3 – Распределение валков по диаметрам в прокатных клетях 1-5

Как видно из гистограмм, во всех прокатных клетях подавляющее большинство комплектов (пар) валков эксплуатируется с наработкой, близкой к максимальной допустимой для каждой клетки. Следует отметить, что перевалки валков в последних клетях стана производятся чаще из-за перехода на прокатку узких полос. Практически 80 % перевалок в клетях 1, 2, 3 и 5 производятся в соответствии с установленным регламентом. Наибольшее количество внеплановых перевалок производится в клетях 4. Это обусловлено тем, что в этой клетке формируются дефекты, которые в последней клетке стана не устраняются. В последней клетке стана используются насеченные валки и обжатия небольшие.

Анализ гистограмм распределения количества валков по диаметрам в прокатных клетях с 1 по 5 показывает, маршрут движения рабочих валков 5→3→4→1→2 между прокатными клетями стана соблюдается. Проведение исследований по изменению установленного регламента перевалок или маршрута движения рабочих валков непрерывного стана не требуется. В дальнейшем планируется проведение анализа перевалок опорных валков.

Выводы

В ходе выполнения научно-исследовательской работы проведён анализ, в результате которого установлено:

- наибольшее количество внеплановых перевалок производится в клетях 4, что связано с образованием в этой клетке дефектов, которые в последней клетке стана не устраняются;
- последовательность эксплуатации рабочих валков с маршрутом по клетям 5→3→4→1→2 стана соблюдается;
- большинство рабочих валков переваливаются в соответствии с установленным регламентом и проведение исследований по изменению регламента перевалок рабочих валков не требуется.

РАСЧЕТ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ ОКИСЛЕНИИ ГБЖ

Гладкая Е.А., Тимофеева А.С., Кожухов А.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. При транспортировке и хранении металлизированного продукта, в том числе и горячебрикетированного железа, возникают варианты попадания влаги на это сырье. При этом происходит электролитическое окисление и выделяется водород, который может привести к пожароопасной ситуации (взрыву). В работе представлен расчет выделения водорода при транспортировке в трюмах при попадании в них воды. Данный расчет позволит спрогнозировать через какое время концентрация водорода в трюме или в помещении для хранения ГБЖ достигнет 4%.

Ключевые слова: горячебрикетированное железо; вторичное окисление; транспортировка; морская вода; водород.

CALCULATION OF HYDROGEN RELEASE DURING ELECTROLYTIC OXIDATION OF HBI

Gladkaya E.A., Timofeeva A.S., Kozhukhov A.A.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST «MISIS»)

Abstract. During transportation and storage of a metallized product, including hot-briquetted iron, there are options for moisture to enter this raw material. In this case, electrolytic oxidation occurs and hydrogen is released, which can lead to a fire hazard (explosion). The paper presents a calculation of hydrogen release during transportation in holds when water enters them. This calculation will make it possible to predict after what time the concentration of hydrogen in the hold or in the storage room of HBI will reach 4%.

Keywords: hot-briquetted iron; secondary oxidation; transportation; seawater; hydrogen.

При открытом хранении и транспортировке прямовосстановленное железо становится пожароопасным (пирофорным). Пожароопасность увеличивается при увлажнении, особенно

при воздействии морской воды, которая способствует выделению водорода, возникающего при внутреннем окислении прямовосстановленного железа. В результате металлизированный продукт обесценивается, возникает угроза безопасности.

Если транспортировка горячебрикетированного железа будет осуществляться водным транспортом, в трюме будет отсутствовать естественная вентиляция и будут нарушены правила безопасной и сохранной доставки груза, то может произойти пожароопасная ситуация (взрыв), так как предельно-допустимая концентрация водорода может достигнуть 4 %.

Поверхность прямовосстановленного железа способствует адсорбции влаги, в присутствии которой процесс реакции "мокрой" коррозии становится преобладающей формой вторичного окисления.

Выделение водорода происходит при окислении железа водой по реакциям [1, с.72]:



Для расчета выделения водорода при электролитическом окислении ГБЖ, которое может произойти при транспортировке, необходимо знать количество водорода, выделившегося при окислении 1 кг ГБЖ.

На кафедре металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСИС» были проведены эксперименты по выделению водорода. Для исследования были взяты и тщательно высушены 5 брикетов (с производства ГБЖ-3 АО «Лебединский ГОК»).

Определили массу сухих брикетов, используя гидростатические весы. Каждый брикет был помещен в дистиллированную воду разной температуры (от 23 до 50 °С) так, чтобы вся поверхность была покрыта водой. В воде брикет находился до тех пор, пока не прекращали выделяться пузырьки воздуха, то есть происходило полное насыщение водой брикетов. Затем измерили массу влажных брикетов.

Используя метод и установку для определения выделения водорода при электролитическом окислении металлизированного продукта, разработанные на кафедре ММ им. Угаровой С.П. СТИ НИТУ «МИСИС» [2, с. 70], определили количество выделившегося водорода в результате вторичного окисления увлажненных брикетов. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Выделение водорода при окислении ГБЖ при разных температурах

№ ГБЖ	m_0 , кг	Π , %	Температура воды, °С	H_2 % об
1	0,505	4,49	20	0,013
2	0,501	4,34	20	0,005
3	0,536	4,95	30	0,008
4	0,644	5,01	40	0,011
5	0,505	4,49	50	0,016

По полученным данным был произведен теоретический расчет для определения времени хранения брикетов при попадании воды в трюм. На рисунке 1 представлена схема и размеры судового трюма для перевозки металлизированного продукта. [3, с. 74].

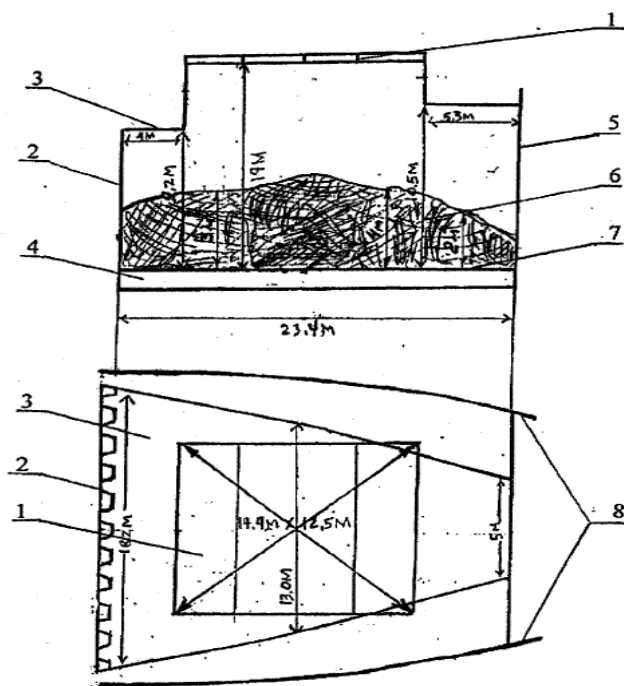


Рис. 1 – Схема и размеры судового трюма металлизированным продуктом [3, с. 74].

Объем трюма - 5764 м^3 ; объем груза – 1437 м^3 ; масса груза - 7000т.

1-люковое закрытие четырехсекционное; 2-кормовая переборка;3-верхняя палуба; 4 - двойное дно;5 - носовая переборка;6 - груз; 7 - настил двойного дна; 8 - левый и правый борта

Используя данные таблицы 1 можно рассчитать сколько водорода выделяется за час 1кг ГБЖ при его окислении при разной температуре

Если в штабеле находится m кг ГБЖ, то в течение 1 часа выделится водорода:

$$V_{H_2} = V_{H_2}^{1 \text{ кг}} \cdot m_{\text{ГБЖ}} \quad (3)$$

где $V_{H_2}^{1 \text{ кг}}$ — объем выделившегося водорода, м³

$m_{\text{ГБЖ}}$ — масса горячебрикетированного железа, кг

Зная объем трюма и объем ГБЖ в трюме, можно найти объем воздуха в трюме:

$$V_{\Gamma} = V_{\text{T}} - V_{\text{ГБЖ}} \quad (4)$$

где V_{Γ} — объем воздуха в трюме, м³

V_{T} — объем трюма, м³

$V_{\text{ГБЖ}}$ — объем горячебрикетированного железа, м³

Количество выделившегося водорода определяется по формуле (5):

$$V_{H_2} = \frac{V_{\Gamma} \cdot V_{H_2\%}}{100} \cdot t \quad (5)$$

где V_{H_2} — объем выделившегося водорода, м³;

V_{Γ} — объем воздуха в эксикаторе, м³;

$V_{H_2\%}$ — объем выделившегося водорода, %об;

t — время выделения водорода, сутки

Выразим объем водорода в %об за 1 сутки:

$$V_{H_2\%} = \frac{100 \cdot V_{H_2}}{V_{\Gamma}}$$

Определим время, в течение которого в окружающей атмосфере содержание водорода достигнет 4% по формуле:

$$\tau = \frac{4\%}{V_{H_2\%}}$$

Рассматривая все варианты выделения водорода при разной температуре, выяснили сколько времени может ГБЖ находиться в трюме при электролитическом окислении, т.е когда концентрация водорода будет достигать 4%. Данный расчет сделан при условии, что вся масса

перевозимого горячебрикетированного железа была увлажнена водой. В таблице 2 представлены результаты расчета для брикетов, увлажненных при различных температурах.

Таблица 2 — Результаты расчета времени транспортировки ГБЖ при попадании воды в трюм

№ ГБЖ	Пористость ГБЖ	Температура воды,	Выделение водорода	Выделение водорода, %v/(т*сут)	Время хранения или транспортировки 7000 т ГБЖ
	%	°С	%v/(кг*час)	%v/(т*сут)	сутки
1	4,34	20	0,005	0,469	8,5
2	4,95	30	0,008	0,585	6,8
3	5,01	40	0,011	1,026	3,9
4	4,49	50	0,016	1,192	3,4

Таким образом в ходе эксперимента и проведенного расчета было выяснено, что на выделение водорода влияют такие факторы, как пористость металлизированного продукта, влагонасыщение и температура воды, и с ростом их количество водорода увеличивается. Поэтому эти данные необходимо учитывать при расчете времени транспортировки или хранения любого металлизированного продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева, А.С., Никитченко, Т.В., Тимофеев Е.С., Федина, В.В. Процессы вторичного окисления железа: уч. пособие / А.С. Тимофеева, Т.В. Никитченко, Е.С.Тимофеев, В.В. Федина. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 116 с.
2. Исследование влияния температуры воды на выделение водорода в процессе окисления ГБЖ / Е. А. Гладкая, В. А. Дурнева, А. Б. Арутюнян, С. К. Бакиров // Актуальные вопросы современной науки и образования: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции : в 2 ч., Пенза, 05 февраля 2022 года. Том Часть 1. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022 – 252 с.
3. Кулишова, Л. А. Совершенствование технологии морской перевозки и организации грузового сюрвея при мультимодальной транспортировке «губчатого железа»: дис. канд. техн. наук: 05.22.19 / Любовь Анатольевна Кулишова — Санкт-Петербург: 2005, — 159 . с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА НА ПЛОТНОСТЬ И ПОРИСТОСТЬ СЫРЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Гладкая Е.А., Тимофеева А.С., Мамыкин С.М., Киселева Н.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

***Аннотация.** На получение качественных окатышей оказывают влияние различные факторы, такие, как удельная поверхность основного компонента шихты - концентрата, состав шихты, влажность ее, работа окомкователя и другие. В работе рассмотрено влияние удельной поверхности концентрата на физические свойства окатышей: гранулометрический состав окатышей, объемную, насыпную плотности и пористость.*

Ключевые слова: удельная поверхность; железорудный концентрат; окатыши; шихта; пористость.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE SPECIFIC SURFACE AREA OF THE CONCENTRATE ON THE DENSITY AND POROSITY OF CRUDE IRON ORE PELLETS

Gladkaya E.A., Timofeeva A.S., Mamykin S.M., Kiseleva N.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** Various factors influence the production of high-quality pellets, such as the specific surface area of the main component of the charge - concentrate, the composition of the charge, its humidity, the operation of the pelletizer and others. The paper considers the effect of the specific surface area of the concentrate on the physical properties of pellets: granulometric composition of pellets, volume, bulk density and porosity.*

Keywords: specific surface area; iron ore concentrate; pellets; charge; porosity.

Управление качеством окатышей в процессе их производства является одной из важнейших задач в подготовке сырья к металлургическому переделу. Такое управление можно осуществлять с помощью ряда технологических приёмов, выполняемых при подготовке шихты и в процессе термообработки, а также с помощью изменения состава шихты

путём введения ряда добавок. С помощью добавок, вводимых в шихту можно формировать структуру окатышей, отвечающую конкретным потребительским требованиям.

Формирование структуры окатыша и, соответственно, прочностных свойств начинается с отделения окомкования, где на чашевых или барабанных окомкователях происходит формирование гранул.

Поэтому очень важно получить качественные сырые окатыши, при технологическом обжиге, тогда получатся качественные обожженные окатыши. Данная работа и предусматривает получение качественных сырых окатышей при производстве их из магнетитового концентрата с различной удельной поверхностью.

На разных металлургических горно-обогатительных предприятиях используется концентрат различной удельной поверхности.

В зависимости от удельной поверхности концентрата свойства окатышей: прочность, плотность, пористость, влажность и выход годного класса - будут изменяться [1-3].

Поэтому для получения качественных окатышей, рационального природопользования, ресурсо- и энергосбережения необходимо провести исследование влияния удельной поверхности концентрата на эти факторы.

Методики исследований разрабатывались для лабораторных условий кафедры металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой на основе ГОСТ(ов), применяемых для определения физических свойств железорудных окатышей [2,4].

Целью данной работы является на основе экспериментальных исследований получение зависимости влияния удельной поверхности концентрата на:

- объемную плотность окатышей;
- насыпную плотность;
- пористость сырых окатышей.

Концентрат использовали с АО «ЛГ ОК» различной удельной поверхности. В работе исследовали 3 вида удельной поверхности 1701 см²/г; 1925 см²/г; 2001 см²/г. Неофлюсованные окатыши получали на лабораторном окомкователе, причем для каждого вида концентрата различной удельной поверхности все условия были одинаковые. Рассматривали изменения плотностей и пористости различных фракций и затем определяли эти величины для классов 1- (8 -9) мм; 2- (10-11) мм; 3-(12-16) мм, с учетом содержания различных фракций в классе.

В данной работе представлены результаты исследований по объемной и насыпной плотности и пористости окатышей в зависимости от удельной поверхности концентрата. Определяли и истинную плотность концентрата, которая оказалась равной 5427,11 кг/м³.

Результаты экспериментов представлены на рисунках 1- 3.

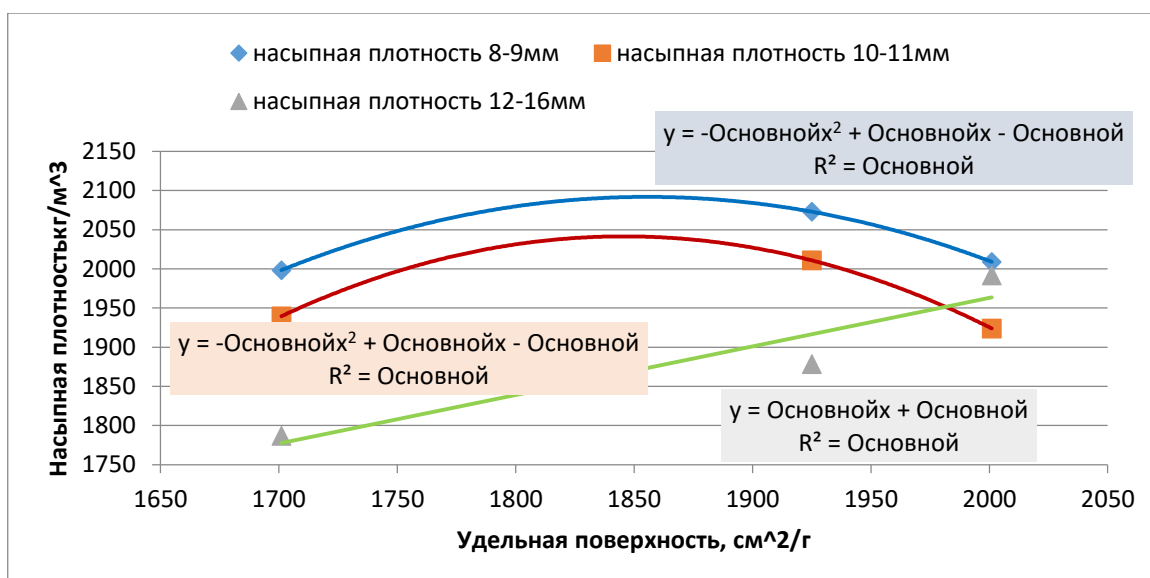


Рис. 1 – Влияние удельной поверхности концентрата на насыпную плотность.

Насыпная плотность, как видно из рисунка 1 для окатышей классов 2 и 3 зависимости аналогичны: насыпная плотность увеличивается до удельной поверхности 1850см²/г, а затем начинает уменьшаться, что практически согласуется с данными работы 5. Для окатышей 1 класса насыпная плотность растет.

Если рассмотреть капиллярные силы, то они могут проявляться лишь в трехфазных системах, т. е. между частицами материала наряду с водой должен находиться воздух, на что указывал Коротич В.И. [6]. Эксперименты показали, что под действием динамических нагрузок избыток воды выжимается из образца, а частицы сближаются до расстояний, соизмеримых с толщиной пленок связанной воды. Тогда система становится двухфазной, капиллярные силы исчезают, а прочность сцепления частиц обуславливается молекулярными силами. Таким образом, ведущим фактором, определяющим прочность сцепления частичек во влажном состоянии, является удельная поверхность материала, которая тем больше, чем выше содержание наиболее мелких фракций. Однако величина суммарной поверхности частиц шихты и конечные показатели процесса производства окатышей имеют между собой сложные связи.

Если говорить об объемной плотности (рис. 2), то для окатышей 1 класса она самая высокая, это связано с тем, что эти окатыши находились в окомкователе больше времени, чем большие, которые раньше ссыпаются в поддон при движении окомкователя. Для 2 и 3 класса изменения незначительные при изменении удельной поверхности концентрата.

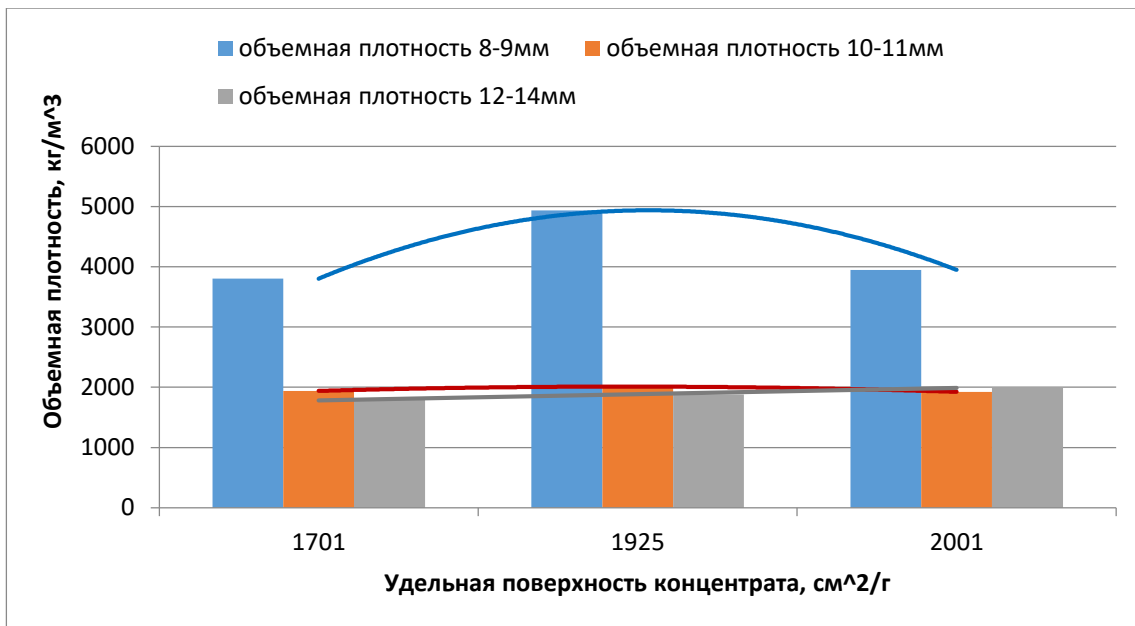


Рис. 2 – Влияние удельной поверхности концентрата на объемную плотность

Зная объемную плотность и истинную определили пористость сырых окатышей по формуле:

$$П = 1 - \frac{\rho_{об}}{\rho_{ист}} \quad (1)$$

где

П – пористость, %

$\rho_{об}$ – объемная плотность, кг/м³

$\rho_{ист}$ – истинная плотность, кг/м³

Пористость окатышей играет важную роль при дальнейшей термообработке окатышей на обжиговой машине. Результаты расчета приведены на рисунке 3.

Пористость окатышей 1 класса с увеличением удельной поверхности концентрата уменьшается, так как объемная плотность возрастает. Для 2 и 3 классов влияние удельной поверхности на пористость практически одинаковое: для поверхности 1850 см²/г она максимальна и составляет 35 %. Дело в том, что 2 и 3 классы по гранулометрическому составу отличаются незначительно.

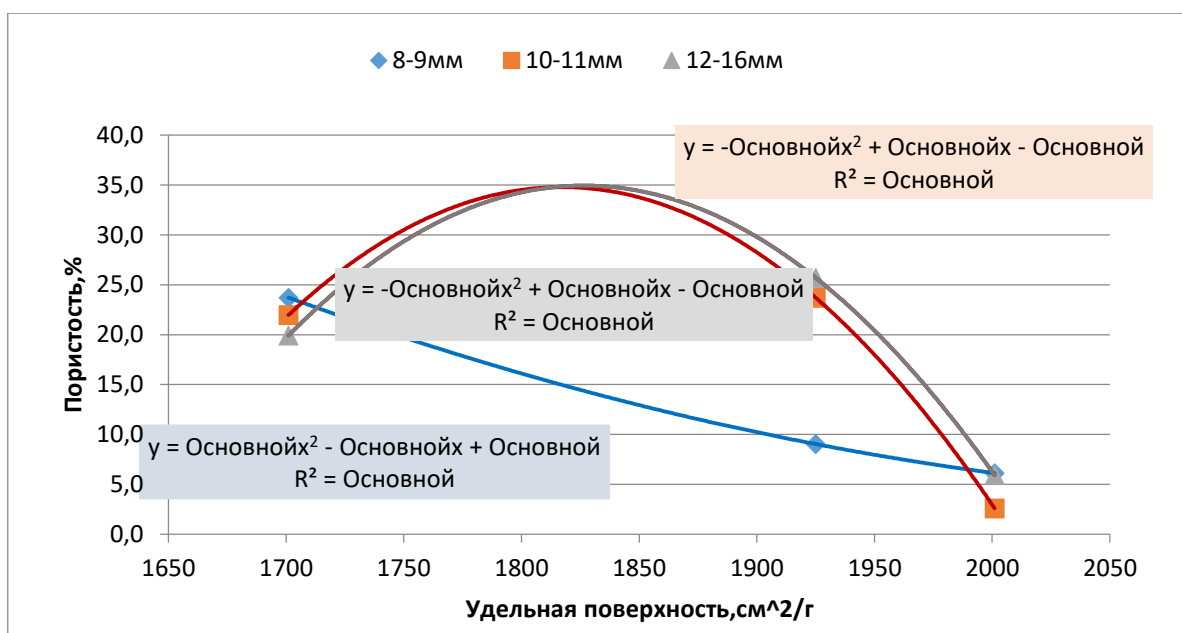


Рис. 3 – Влияние удельной поверхности концентрата на пористость окатышей

Вывод: Удельная поверхность концентрата влияет на пористость и плотности рабочего класса окатышей, причем максимум плотностей для 1 класса и максимум пористости для 2 и 3 классов приходится на концентрат с удельной поверхностью 1850см²/г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маерчак, Ш. Производство окатышей. Пер. со словац. – М. Металлургия, 1982. – 232 с.
2. Тимофеева, А.С., Никитченко, Т.В. Влияние качественных характеристик бентонита и концентрата на окомкование шихты / А.С. Тимофеева, Т.В. Никитченко // Сталь. – №12.– 2014. – С. 4-6.
3. Теоретические основы производства окускованного сырья / Д.А. Ковалев, Н.Д. Ванюков, В.П. Иващенко и др. – НМетАУ, Днепропетровск: ИМА-пресс, 2011. – 476 с.
4. Тимофеева, А.С., Никитченко, Т.В., Федина, В.В. Определение комкуемости железорудной шихты с целью прогнозирования прочностных свойств окатышей / А.С. Тимофеева, Т.В. Никитченко, В.В. Федина. // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 8. – С. 88-90.
5. Журавлев, Ф.М., Малышева, Т.Я. Окатыши из концентратов железистых кварцитов / Ф.М. Журавлев, Т.Я. Малышева. – М.: Металлургия, 1991.– 127 с.
6. Коротич, В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов / В.И. Коротич. – М.: Металлургия, 1966. - 151 с.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО ШАРОБАЛЛОНА С ПОЛИМЕРНЫМ ЛЕЙНЕРОМ

Ивановская О.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
cent.car@sf.MISIS.ru

***Аннотация.** В работе представлена методика проектирования композитного шаробаллона с лейнером из полиэтилена на примере конкретной конструкции. Методика заключается в предварительном расчете значений толщины армирующего материала спирального и кольцевого слоев как для цилиндрического баллона, с цилиндрической частью нулевой длины. Толщина кольцевого слоя распределялась равномерно на многозонные слои, с последующим расчетом относительной деформации в каждом слое в направлении армирования и сравнением с допускаемой. В слоях, где деформация превышала допускаемую, увеличивалась толщина и определялась относительная деформации до тех пор, пока во всех слоях не было достигнуто допускаемое значение.*

Ключевые слова: композиционные материалы; шаробаллон; лейнер; намотка; зона; деформация; угол армирования; толщина слоя; давление; лента.

RATIONAL DESIGN OF COMPOSITE SPHERICAL BALLOON WITH POLYMER LINER

Ivanovskaya O.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The paper presents a methodology for designing a composite spherical balloon with a polyethylene liner using a specific design as an example. The technique consists in preliminary calculation of the thickness of the reinforcing material of the spiral and annular layers as for a cylindrical cylinder, with a cylindrical part of zero length. The thickness of the annular layer was distributed evenly into multi-zone layers, followed by calculation of the relative deformation in each layer in the direction of reinforcement and comparison with the permissible one. In layers where the deformation exceeded the permissible value, the thickness was increased and the relative deformation*

was determined until the permissible value was reached in all layers.

Keywords: composite materials; balloon; liner; winding; zone; deformation; reinforcement angle; layer thickness; pressure; ribbon.

Введение

Композиционные материалы по праву считаются материалами будущего, поскольку сочетают в себе целый ряд уникальных свойств – легкость, прочность, высокую жесткость, немагнитность, радиопрозрачность и т.д. Особенность использования таких материалов заключается в том, что для конкретного изделия необходимо создать свой, зачастую уникальный, материал, т.е. подобрать соответствующие компоненты, выбрать требуемую условиям нагружения схему расположения армирующих наполнителей, применить определенный технологический процесс изготовления для получения минимальной массы создаваемой конструкции.

В таких конструкциях, получаемых намоткой армирующего материала (АМ), как баллоны высокого давления (БВД), где волокна работают на растяжение, эффективность их применения в настоящее время представляется несомненной.

Анализ литературных источников показал, что методики проектирования конструкций и технология изготовления цилиндрических композитных и металлокомпозитных баллонов разработаны достаточно хорошо. Проектирование же конструкций и технологии изготовления композитных шаробаллонов в большей степени опираются на эмпирический подход. Это объясняется тем, что в шаробаллоне невозможно намотать окружной слой, а спиральный слой не может полностью воспринимать окружные усилия. Кроме того, наматывая спиральный слой одним семейством нитей, у штуцера накапливается несоразмерная и ненужная толщина АМ. Поэтому АМ необходимо укладывать многозонным способом, т.е. под разными углами к продольной оси баллона. При этом создаваемый композитный слой многократно статически неопределим, что также многократно усложняет прогнозирование прочности.

Один из основных источников энергии в конструкциях ракетно-космической техники (РКТ) – шаробаллоны высокого давления со сжатым рабочим газом. Они обеспечивают работу вытеснительных систем подачи топлива к ракетным двигателям и пневмоавтоматики [1]. В источнике [1] не предложены методы проектирования значений толщины АМ, а предлагается укладка лент встык во всех слоях многозонной намотки в экваториальной плоскости, что приводит к утяжелению композитной оболочки. Для обеспечения прочности в зоне штуцера предлагается изготавливать разнотолщинный металлический лейнер.

При изготовлении металлокомпозитных баллонов существует ограничение, связанное с малыми деформациями разрушения металлических оболочек в зоне сварного шва, что не

позволяет полностью реализовать прочность однонаправленных КМ, деформации разрушения которых значительно выше.

Композитные сферические баллоны, полученные методом зональной намотки на полимерную (полиэтиленовую) оболочку, реализуют прочность однонаправленных КМ. Применительно к композитной равнонапряженной сферической оболочке, для которой теоретически намотанный материал должен быть распределен равномерно по меридиану оболочки, можно выделить два практически реализуемых варианта распределения нитей по слоям.

В первом варианте каждый слой (зона) образуется одним и тем же числом витков нитей или узких лент. Во втором – зональные углы наматываемых слоев располагаются на одинаковом расстоянии друг от друга вдоль меридиана, при этом число витков нитей в каждом слое будет переменным [2].

В источнике [3] представлена технология намотки металлокомпозитного шаробаллона органическим жгутом «Русар» на связующем ЭДТ-10. В работе не проводился проектировочный расчет значений толщины слоев АМ и распределения ее по зонам. Конечная толщина задавалась из условия укладки лент встык в каждом слое, а толщина слоя АМ первой и последней зоны без обоснования увеличена в два раза.

Из анализа литературных источников и учитывая, что конструкция композитного шаробаллона статически не определима, предлагается решение задачи в деформационной постановке [6,7].

В работе предложена методика проектирования композитного баллона с лейнером из полиэтилена.

Алгоритм представлен на примере следующих исходных данных:

- рабочее внутреннее давление в баллоне $P = 300 \text{ кг/см}^2$;
- нормативный коэффициент запаса прочности $n = 2$. (Для композитных оболочек задается в каждом конкретном случае в зависимости от назначения оболочки и используемого композитного материала [5]);
- линейная плотность углежгута $T = 830 \text{ текс}$;
- массовая плотность углежгута $\gamma = 1,78 \text{ г/см}^3$;
- количество жгутов в ленте АМ – 1;
- ширина ленты АМ из одного жгута $a = 0,6 \text{ см}$.
- внешний диаметр (экватор) лейнера шаробаллона $D = 50 \text{ см}$ ($R=25 \text{ см}$);
- диаметр полюса $d_{\Pi} = 4 \text{ см}$ ($r_{\Pi} = 2 \text{ см}$);
- паспортная прочность АМ $[\sigma] = 60000 \text{ кг/см}^2$;
- модуль упругости АМ $E_{AM} = 2,9 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$;

- предельное удлинение АМ при разрыве $\varepsilon_{допуск} = 1,9\% = 0,019$;
- модуль упругости полиэтилена $E_L = 0,002 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$;
- толщина стенки лейнера $\delta = 0,6 \text{ см}$;
- прочность полиэтилена высокого давления при разрыве 105 кг/см^2 .

Расчет количества зон спиральной намотки АМ

Определим максимально возможное количество спиральных слоев (зон), разделив длину окружности от точки А до точки В на ширину ленты (рисунок):

$$N = \frac{(\pi D/4 - 2)}{0,6} = 62 \text{ (зоны)}. \quad (1)$$

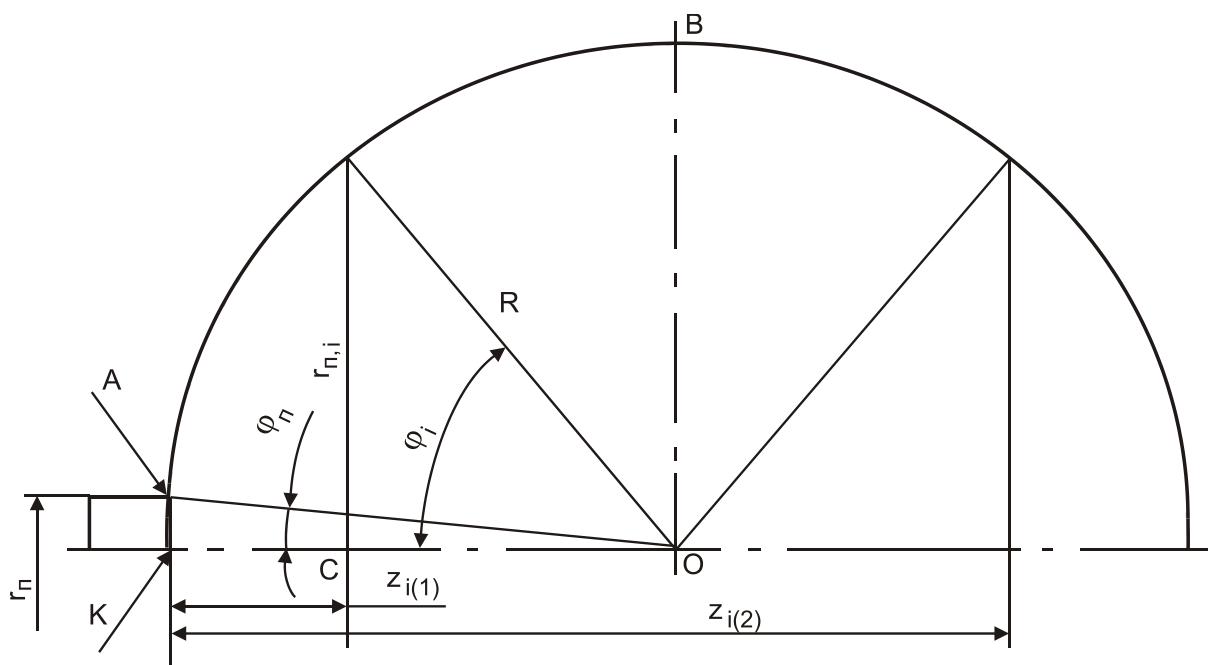


Рис. 1 – Сечение лейнера шаробаллона

Проведя предварительные расчеты для конструкции баллона с $N=14, 18, 24, 36$ зонами намотки было установлено, что при большом количестве зон на каждую зону приходится малое количество лент АМ, что не дает возможность покрыть всю поверхность лейнера. И кроме этого в ряде случаев угол поворота оправки при укладке ленты больше угла трения АМ о поверхность лейнера, что делает невозможным осуществить геодезическую намотку. В связи с вышесказанным было принято решение вести проектирование намотки для $N=7$ зон.

Определим угол укладки АМ спирального слоя первой зоны (у полюса) [4]:

$$\varphi_{\Pi} = \arcsin \frac{d_{\Pi}}{D} = \arcsin \frac{4}{50} = 4,589^{\circ}. \quad (2)$$

Оставшуюся часть дуги А-В (рис.) разделим на количество зон и получим приращение угла армирования, приходящееся на каждую зону:

$$\Delta\varphi = \frac{90^{\circ} - 4,589^{\circ}}{7} = 12,2^{\circ}. \quad (3)$$

Тогда угол армирования i -того спирального слоя

$$\varphi_i = \varphi_{\Pi} + (n-1) \cdot \Delta\varphi = 4,589^{\circ} + (n-1) \cdot 12,2^{\circ}, \quad (4)$$

где n номер i -того спирального слоя, а соответствующий ему радиус полюса i -того спирального слоя

$$r_{\Pi,i} = R \sin \varphi_i. \quad (5)$$

Определим координаты начала $z_{i(1)}$ и конца $z_{i(2)}$ i -того спирального слоя:

$$z_{i(1)} = R \cos \varphi_{\Pi} - R \cos \varphi_i = R(\cos \varphi_{\Pi} - \cos \varphi_i); \quad (6)$$

$$z_{i(2)} = R \cos \varphi_{\Pi} - R \cos \varphi_i + 2R \cos \varphi_i = R(\cos \varphi_{\Pi} + \cos \varphi_i). \quad (7)$$

Полученные результаты представлены в таблице 1.

Предварительный расчет значений толщины армирующего материала

Расчет значений толщины АМ в слоях баллона будем вести из условия, что шаробаллон – это конструкция с двумя днищами и нулевой длиной цилиндрической части, а полимерный лайнер нагрузку не воспринимает. Тогда допускаем, что намотка АМ осуществляется спиральными и кольцевыми слоями. Исходя из равенства энергии, которую воспримет АМ в момент разрушения, найденную сумму значений толщины АМ кольцевого и спирального слоев предварительно распределим на спиральные слои с равной толщиной при многозонной намотке [5].

Толщина АМ спирального слоя в зоне экватора [4]

$$h_C = \frac{nPD}{4 \left[\sigma_C^{AM} \right] \cos^2 \varphi_{\Pi}}, \quad (8)$$

где $\left[\sigma_C^{AM} \right]$ – конструкционная прочность АМ в пластике спирального слоя.

Учитывая снижение прочности при намотке, принимаем коэффициент 0,8 от паспортной прочности АМ.

Тогда

$$h_C = \frac{2 \cdot 300 \cdot 50}{4 \cdot 48000 \cdot \cos^2 4,589^\circ} = 0,1593(\text{см}). \quad (9)$$

Толщина АМ кольцевого слоя

$$h_K = \frac{nPD / 2 - [\sigma_C^{AM}] h_C \sin^2 \varphi_{II}}{[\sigma_K^{AM}]}, \quad (10)$$

где $[\sigma_K^{AM}]$ – конструкционная прочность АМ в пластике кольцевого слоя. Так как толщина АМ кольцевого слоя будет распределена в спиральных слоях, то ее принимаем также 48000 кг/см².

Тогда

$$h_K = \frac{2 \cdot 300 \cdot 25 - 48000 \cdot 0,1593 \cdot \sin^2 4,6^\circ}{48000} = 0,3156(\text{см}). \quad (11)$$

Предварительные значения толщины каждого i – того спирального слоя на i – том экваторе

$$h_i^{\text{экват}} = \frac{h_C + h_K}{N} = \frac{0,1593 + 0,3156}{7} = 0,067(\text{см}). \quad (12)$$

Полученные результаты представлены в таблице 1.

В связи с тем, что многослойная оболочка является статически неопределимой системой, представленный алгоритм основан на деформационной постановке [6,7], т. е. определяем относительные деформации в сечениях (зонах). Значения радиусов сечений в таблице 1.

Толщину каждого слоя в рассматриваемом сечении находим из условия [8]:

$$h_i^{\text{полюс}} = \frac{R_{\text{экват}} h_i^{\text{экват}} \cos \varphi_r}{r_i \cos \varphi_r} = h_i^{\text{экват}} \sqrt{\frac{R^2 - r_{II,i}^2}{r_i^2 - r_{II,i}^2}}, \quad (13)$$

где $h_i^{\text{экват}}$ – толщина АМ рассматриваемого слоя на экваторе;

r_i – радиус рассматриваемого сечения;

$r_{II,i}$ – радиус полюса, рассматриваемого слоя.

На контуре полюсного сечения толщина АМ превращается в бесконечность, но на практике намотка осуществляется лентой конечной ширины и толщины, поэтому и толщина АМ будет конечной. Таким образом, формула (13) справедлива на удалении от полюсного отверстия на величину, превышающую две ширины ленты [8]. В нашем случае ширине ленты (зоны) соответствует угол $\Delta\varphi = 1,38^\circ$, поэтому для расчета толщины АМ на полюсе в место $\varphi_{\Pi} = 90^\circ$ задаем

$$\varphi_{\Pi} = 90^\circ - 1,38^\circ = 88,62^\circ. \quad (14)$$

Примечание – Значения толщины слоев АМ (кроме полюсных) рекомендуется считать по второй части выражения (13).

Полученные значения представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения предварительных конструктивно-технологических параметров намотки АМ шаробаллона

№ зоны	1	2	3	4	5	6	7
$\varphi_i, ^\circ$	4,589	16,79	28,992	41,193	53,395	65,597	77,798
$r_{\Pi,i}, \text{см}$	2,00	72,217	121,171	164,651	200,692	227,665	244,352
$h_i^{\text{экват}}, \text{см}$	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
$h_i^{\text{полюс}}, \text{см}$	3,950	1,050	0,572	0,362	0,235	0,144	0,068
$z_{i(1)}, \text{см}$	0	0,985	3,053	6,107	9,942	14,591	19,635
$z_{i(2)}, \text{см}$	49,84	48,854	46,789	43,732	39,827	35,248	30,203

Расчет значений относительной деформации и толщины АМ в слоях шаробаллона

Окружные и осевые Относительные деформации определяем по выражениям [6, 7]:

$$\varepsilon_i^{OK} = \text{Pr}_i \left[\frac{1}{E_{\text{л}}\delta_{\text{л}} + \sum_{i=1}^m E_{\text{АМ}}h_i^K} - \frac{\mu}{2(E_{\text{л}}\delta_{\text{л}} + \sum_{i=1}^m E_{\text{АМ}}h_i^{СП} \cos^3 \varphi_i)} \right]; \quad (15)$$

$$\varepsilon_i^{oc} = \text{Pr}_i \left[\frac{1}{2(E_L \delta_L + \sum_{i=1}^m E_{AM} h_i^{СП} \cos^3 \varphi_i)} - \frac{\mu}{E_L \delta_L + \sum_{i=1}^m E_{AM} h_i^K} \right], \quad (16)$$

где P – рабочее давление в баллоне;

r_i – радиус, рассматриваемого сечения;

E_L – модуль упругости материала лейнера;

δ_L – толщина стенки лейнера;

E_{AM} – модуль упругости АМ;

h_i^K – толщина АМ в кольцевом слое, рассматриваемого сечения;

$h_i^{СП}$ – толщины АМ спирального слоя в рассматриваемом сечении;

φ_i – углы армирования спиральных слоев;

m – количество спиральных слоев в рассматриваемом сечении.

Примечание – Значение толщины кольцевого слоя h_i^K принимаем равным значению толщины слоя на полюсе $h_i^{полюс}$ каждого сечения.

Из полученных значений осевых и окружных относительных деформаций вычисляем относительные деформации по направлению армирования каждого i -того слоя по выражению

$$\varepsilon_i^{расч} = \varepsilon_i^{oc} \cos^2 \varphi_i + \varepsilon_i^{ок} \sin^2 \varphi_i. \quad (17)$$

Полученные значения относительной деформаций представлены в табл. 2 -10.

Находим значение максимальной относительной деформации в i -том слое рассматриваемого сечения по направлению армирования. При этом должно выполняться условие

$$\varepsilon_i^{\max} \leq \frac{\varepsilon_{допуск}}{n} \leq \frac{1,9}{2} \leq 0,95(\%), \quad (18)$$

где $\varepsilon_{допуск}$ – предельная относительная деформация АМ по направлению армирования;

n – коэффициент безопасности по деформации в АМ (принимаем равным двум).

Если условие (18) не выполнилось, необходимо пересчитать толщину АМ в тех слоях и в тех рассматриваемых сечениях, где наблюдалась максимальная относительная деформация по выражению

$$h_{i+1} = \frac{nh_i \varepsilon_i^{\max}}{\varepsilon_{\text{допуск}}} = \frac{h_i \varepsilon_i^{\max}}{0,95}, \quad (19)$$

где h_i – предыдущая толщина АМ,

ε_i^{\max} – предыдущая относительная деформация АМ по направлению армирования.

Повторяем расчет до выполнения условия (18).

Ниже в таблицах 2-10 приведены посчитанные значения относительной деформации по направлению армирования.

Таблица 2 – Значения относительной деформации (%) по направлению армирования при толщине АМ на экваторе одинаковой во всех слоях $h_{i,1} = 0,67$ мм

-12,66	0,129	0,175	0,157	0,04	-0,269	-1,24	0,594
0	-0,016	0,142	0,179	0,114	-0,115	-0,861	0,525
0	0	0,077	0,222	0,259	0,189	-0,117	0,388
0	0	0	0,28	0,45	0,588	0,859	0,209
0	0	0	0	0,652	1,011	1,894	0,02
0	0	0	0	0	1,382	2,802	-0,146
0	0	0	0	0	0	3,423	-0,26

Таблица 3 – Значения относительной деформации (%) по направлению армирования при толщине АМ на экваторе $h_{i,2}$, мм

-12,657	0,2	0,215	0,435	0,593	0,549	0,298	0,796
0	-0,011	0,244	0,388	0,526	0,511	0,325	0,703
0	0	0,3	0,296	0,394	0,437	0,377	0,52
0	0	0	0,175	0,22	0,34	0,447	0,281
0	0	0	0	0,036	0,236	0,521	0,027
0	0	0	0	0	0,145	0,585	-0,196
0	0	0	0	0	0	0,629	-0,348

Таблица 4 – Значения относительной деформации (%) по направлению армирования при толщине АМ на экваторе $h_{i,3}$, мм

-12,655	0,231	0,123	0,364	0,741	0,774	0,454	1,212
0	0,007	0,314	0,417	0,68	0,729	0,494	1,071
0	0	0,688	0,52	0,561	0,641	0,573	0,793
0	0	0	0,656	0,405	0,525	0,676	0,428
0	0	0	0	0,239	0,403	0,786	0,041
0	0	0	0	0	0,295	0,883	-0,299
0	0	0	0	0	0	0,948	-0,53

Таблица 5 – Значения относительной деформации (%) по направлению армирования при толщине АМ на экваторе $h_{i,4}$, мм

-12,658	0,174	-0,074	0,013	0,533	0,658	0,399	1,166
0	0,024	0,268	0,222	0,526	0,634	0,446	1,03
0	0	0,94	0,634	0,511	0,588	0,538	0,763
0	0	0	1,175	0,493	0,527	0,659	0,411
0	0	0	0	0,473	0,462	0,787	0,039
0	0	0	0	0	0,405	0,9	-0,287
0	0	0	0	0	0	0,977	-0,51

Таблица 6 – Значения относительной деформации (%) по направлению армирования при толщине АМ на экваторе $h_{i,13}$, мм

-12,661	0,028	-0,189	-0,033	0,11	0,209	0,255	0,972
0	0,19	0,196	0,145	0,212	0,279	0,312	0,859
0	0	0,952	0,494	0,412	0,415	0,423	0,636
0	0	0	0,952	0,675	0,595	0,569	0,343
0	0	0	0	0,953	0,784	0,724	0,033
0	0	0	0	0	0,951	0,86	-0,425
0	0	0	0	0	0	0,953	-0,425

Таблица 7 – Значения относительной деформации (%) по направлению армирования при толщине АМ на экваторе $h_{i,14}$, мм

-12,661	0,014	-0,191	-0,034	0,11	0,208	0,255	0,97
---------	-------	--------	--------	------	-------	-------	------

0	0,221	0,195	0,143	0,212	0,277	0,311	0,856
0	0	0,954	0,492	0,411	0,414	0,422	0,634
0	0	0	0,951	0,672	0,593	0,568	0,342
0	0	0	0	0,949	0,784	0,722	0,033
0	0	0	0	0	0,951	0,857	-0,239
0	0	0	0	0	0	0,95	-0,424

Таблица 8 – Значения относительной деформации (%) по направлению армирования при толщине АМ на экваторе $h_{i,15}$, мм

-12,661	-0,001	-0,19	-0,037	0,106	0,205	0,251	0,966
0	0,254	0,193	0,141	0,208	0,275	0,308	0,854
0	0	0,947	0,491	0,409	0,412	0,42	0,632
0	0	0	0,951	0,673	0,592	0,567	0,341
0	0	0	0	0,953	0,783	0,722	0,033
0	0	0	0	0	0,951	0,858	-0,238
0	0	0	0	0	0	0,951	-0,423

Таблица 9 – Значения относительной деформации (%) по направлению армирования при толщине АМ на экваторе $h_{i,16}$, мм

-12,662	-0,017	-0,195	-0,038	0,108	0,205	0,252	0,956
0	0,291	0,193	0,14	0,209	0,275	0,309	0,853
0	0	0,956	0,491	0,409	0,412	0,42	0,632
0	0	0	0,952	0,67	0,592	0,566	0,341
0	0	0	0	0,947	0,782	0,721	0,033
0	0	0	0	0	0,949	0,857	-0,238
0	0	0	0	0	0	0,95	-0,422

Примечания

1. Соответствующие значения толщины i -го слоя АМ на экваторе приведены в табл.10.
2. В таблицах 2-9 строки – это номер слоя, столбцы – номер сечения.
3. Выделенные значения в табл. 2-9 – максимальная относительная деформация i -того слоя в i -м сечении.

Таблица 10 – Значения толщины АМ слоев на экваторе и максимальные относительные деформации в слое при поиске их рациональных значений

Этап	Предварительный		Текущий		Текущий		Текущий	
	(1)		(2)		(3)		(4)	
№ слоя	$h_{i,1}$, мм	$\varepsilon_{i,1}$, %	$h_{i,2}$, мм	$\varepsilon_{i,2}$, %	$h_{i,3}$, мм	$\varepsilon_{i,3}$, %	$h_{i,4}$, мм	$\varepsilon_{i,4}$, %
1	0,67	0,594	0,419	0,796	0,351	1,212	0,448	1,165
2	0,67	0,525	0,370	0,703	0,274	1,071	0,309	1,031
3	0,67	0,388	0,274	0,520	0,149	0,793	0,125	0,940
4	0,67	0,859	0,606	0,447	0,285	0,676	0,203	1,175
5	0,67	1,894	1,336	0,521	0,732	0,786	0,606	0,787
6	0,67	2,802	1,976	0,585	1,217	0,883	1,132	0,900
7	0,67	3,421	2,412	0,629	1,596	0,948	1,595	0,977
Толщина АМ на экваторе	4,69		7,393		4,604		4,418	

Примечания:

1. За критерий рациональной конструкции была принята минимальная масса АМ (сумма значений толщины слоев на экваториальном сечении баллона).
2. Для сокращения печатного материала этапы 5-12 не представлены.
3. Последние колонки табл. 10 на шестнадцатом этапе удовлетворяют безопасной относительной деформации (выражение (18)), поэтому значения толщины АМ слоев приняты как рациональные.

Продолжение табл. 10

Этап	Текущий		Текущий		Текущий		Рациональный	
	(13)		(14)		(15)		(16)	
№ слоя	$h_{i,13}$, мм	$\varepsilon_{i,13}$, %	$h_{i,14}$, мм	$\varepsilon_{i,14}$, %	$h_{i,15}$, мм	$\varepsilon_{i,15}$, %	$h_{i,16}$, мм	$\varepsilon_{i,16}$, %
1	0,813	0,972	0,832	0,970	0,850	0,966	0,864	0,956
2	0,183	0,859	0,165	0,856	0,149	0,854	0,134	0,853

3	0,132	0,952	0,133	0,954	0,133	0,947	0,132	0,956
4	0,247	0,952	0,258	0,951	0,258	0,951	0,258	0,952
5	0,446	0,953	0,448	0,949	0,447	0,953	0,449	0,947
6	0,790	0,951	0,791	0,951	0,792	0,951	0,793	0,949
7	1,737	0,953	1,743	0,950	1,743	0,95	1,745	0,950
Толщина АМ на экваторе	4,348		4,2913		4,372		4,475	

Выводы

1. Проектирование равнотолщинных зон АМ не создает работоспособную конструкцию (табл. 10, $h_{i,1}$) т.к. относительные деформации в сечениях 5, 6, 7 превышают предельную относительную деформацию в направлении армирования (1,894%; 2,802%; 3,423% соответственно), что приведет к разрушению этих слоев в конструкции баллона в целом.

2. Предложенная методика расчета толщины АМ в слоях многозонной намотки позволяет получить работоспособную конструкцию композитного баллона минимальной массы, а также может использоваться для проектирования композитных цилиндрических баллонов с многозонной намоткой спиральных слоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов В. А. Унификация шаробаллонов высокого давления РКТ комбинированной конструкции с композитной оболочкой и металлическим лейнером. В. А. Тарасов, А. В. Бараев, М. А. Комков. / Известия ВУЗов. Машиностроение. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015 . – №1 . – 82 с.

2. Комков М. А., Тарасов В. А. Намотка ракет. Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения: Учебное пособие / М. А. Комков, В. А. Тарасов. – М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2011. – 431 с.

3. Потапов А. М. Технология изготовления и испытания органопластиковой оболочки комбинированного баллона высокого давления для ракеты носителя. / А. М. Потапов, В. А. Коваленко, Л. П. Малый, А. В. Кондратьев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. научн. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е.Жуковского «ХАИ» - Вып. 3(75) – X., 2013. – с. 13 -21.

4. Образцов И. Ф., Васильев В. В., Бунаков В. А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. М.: Машиностроение, – 1977. – 144 с.
5. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03). Серия 3 Выпуск 24 / Колл. авт. – М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2008 – 188 с.
6. Ивановская О. В. Расчёт деформаций стенки металлопластикового баллона со спирально-кольцевой намоткой армирующего материала. / Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сб. науч. тр. Гос. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Вып. 13. Харьков: ГАКУ. – 1998. – с. 57-62.
7. Ивановский В. С. Проектирование баллонов давления из композиционных материалов. Учебное пособие по практич. занятиям / В. С. Ивановский, О. В. Ивановская. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2016. – 60 с.
8. Васильев В. В., Мороз Н. Г. Композитные баллоны давления, расчет, изготовление и испытания: справочное пособие. М.: Машиностроение; Инновационное машиностроение, 2015. – 373 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКУУМИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ
ЭКСТРУЗИОННЫХ БРИКЕТОВ ИЗ ОТХОДОВ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Карамин А.В., Скляр В.А., Черменев Е.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
s160559@edu.MISIS.ru*

***Аннотация.** Проведенные исследования показали, что прочностные характеристики сырых образцов, полученных с использованием вакуумирования в процессе прессования в среднем на 25,5-38,2 % выше чем у образцов полученных без использования вакуумирования, а прочностные характеристики высушенных образцов, выше на 29,8-30,1 % соответственно. Таким образом экструзионные брикеты необходимо производить только с использованием вакуумирования в процессе прессования.*

Ключевые слова: отходы металлургического производства; рациональное природопользование; брикеты; экструзия; прочность.

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VACUUMING ON THE STRENGTH OF
EXTRUSION BRIQUETTES FROM METALLURGICAL WASTE**

Karamin A.V., Skliar V.A., Chermenev E.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** Studies have shown that the strength characteristics of raw samples obtained using vacuuming during the pressing process are on average 25.5-38.2% higher than those of samples obtained without vacuuming, and the strength characteristics of dried samples are 29.8-30.1% higher, respectively. Thus, extrusion briquettes must be produced only using vacuuming during the pressing process.*

Keywords: waste of metallurgical production; rational use of natural resources; briquettes; extrusion; strength.

Введение

Сегодня металлургия не обходится без технологий, связанных с использованием побочных продуктов производства железорудного сырья, таких как шлам, аспирационная и колошниковая пыль, окалина прокатного цеха. Эти материалы содержат окислы железа и могут быть использованы в доменных печах. Для формирования смеси из этих компонентов используют методы брикетирования, чтобы получить продукт нужной формы и размера. Готовые брикеты должны быть прочными и не содержать много пустой породы. Эта технология позволяет вернуть побочные продукты в производственный цикл и избежать проблем с их хранением [1-3].

Результаты анализа литературных данных показали, что данная технология превосходит другие промышленные методы брикетирования в плане производительности и экономической эффективности. Из известных валковых и вибропрессующих брикетных заводов ни один не достиг масштабов таких предприятий, как фабрика, принадлежащая компании ВНР Billiton и введенная в строй в 2006 году компанией Vale в Бразилии, для окускования никелевых латеритных руд и пыли производства ферроникеля мощностью 700 000 тонн брикетов в год [4].

Брикетированное сырье, полученное путем жесткого вакуумированного экструдирования, требует меньше связующего материала и менее чувствительно к изменению уровня влажности сырья. Оно также позволяет производить брикеты минимальных размеров, которые могут быть сопоставимы с размерами агломерата и окатышей.

В статье [5] рассматривается возможность использования пыли и шлама, образующихся в ходе процесса Midrex, в качестве сырья для повторной загрузки в сам процесс. Есть данные о применении брикетированного сырья из железосодержащих отходов в качестве шихтового материала для доменных печей различного размера на предприятии ПАО «НЛМК» [6-7].

В ПАО «НЛМК» используются брикеты с содержанием окислы для промывки доменных печей, которые применяются в доменной печи. Расход брикетов составляет от 5 до 50 тонн за сутки, что вдвое меньше, чем расход агломерата для промывки. Брикеты улучшают дренажные характеристики коксового слоя и являются более экономичным вариантом по сравнению с агломератом [8].

Таким образом, целью настоящей работы являлось проведение исследования по определению влияния вакуумирования на прочность экструзионных брикетов из отходов металлургических производств.

Методика проведения исследования

Для проведения эксперимента изготавливались брикеты, в состав которых входили: концентрат, шлам, аспирационная пыль, колошниковая пыль. Данные брикеты изготавливались на экструдере ТРУД ЭМ2В с вакуумированием и без. Внешний вид экструдера представлен на рис. 1.



Рис. 1 – Экструдер ТРУД ЭМ2В с вакуумированием

Результаты и их обсуждение

Сравнительная диаграмма результатов испытания образцов на раздавливание в положении «на ребро» с использованием вакуумирования и без приведена на рис. 2.

Как видим и в случае испытания сырых образцов на раздавливание в положении «на ребро» и в случае испытания высушенных образцов, образцы, которые были получены без использования вакуумирования в процессе прессования, имеют более низкую прочность по сравнению с образцами, полученными с использованием вакуумирования в процессе прессования. Так в ходе испытания сырых образцов, образцы полученные с использованием вакуумирования в процессе прессования выдерживали силу на 25,5 % больше чем образцы, которые были получены без использования вакуумирования в процессе прессования. А в ходе испытания высушенных образцов, образцы полученные с использованием вакуумирования в процессе прессования выдерживали силу на 29,8 % больше чем образцы, которые были получены без использования вакуумирования в процессе прессования.

Сравнительная диаграмма результатов испытания образцов на раздавливание в положении «на торец» с использованием вакуумирования и без приведена на рис. 3. видно, что в ходе испытания сырых образцов, образцы, полученные с использованием вакуумирования в процессе прессования выдерживали силу на 35,2 % больше чем образцы, которые были получены без использования вакуумирования в процессе прессования. А в ходе испытания высушенных образцов, образцы, полученные с использованием вакуумирования в процессе прессования выдерживали силу на 30,6 % больше чем образцы, которые были получены без использования вакуумирования в процессе прессования.

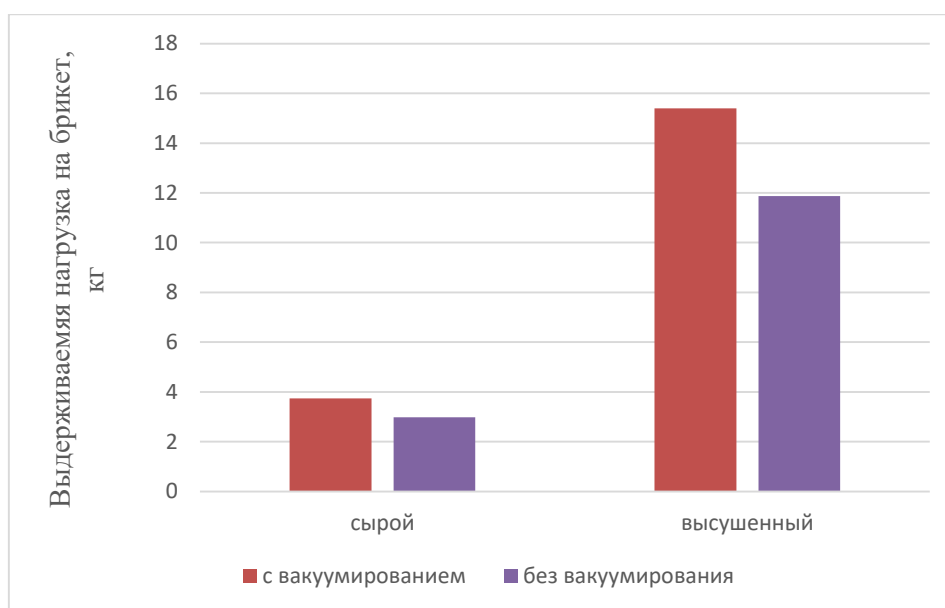


Рис. 2 – Результаты испытаний образцов на раздавливание в положении «на ребро»

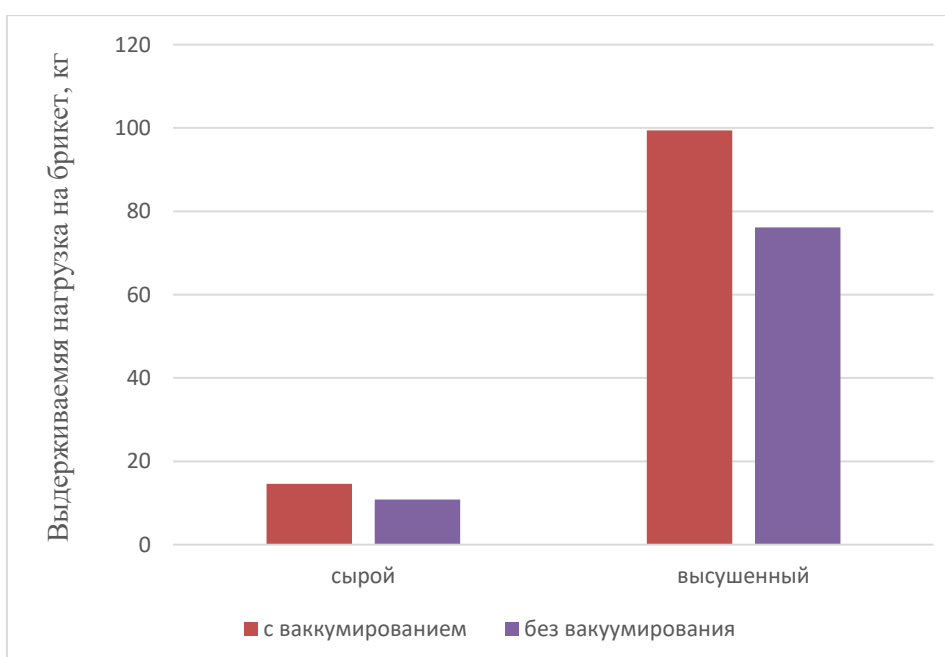


Рис. 3 – Результаты испытаний образцов на раздавливание в положении «на торец»

Однако по сравнению с испытанием в положении «на ребро» прирост прочности в высушенном состоянии меньше чем в сыром.

Сравнительная диаграмма результатов испытания образцов на сбрасывание с использованием вакуумирования и без приведена на рис 4.

Так в ходе испытания сырых образцов, образцы, полученные с использованием вакуумирования в процессе прессования выдерживали количество падений на резиновое основание на 38,2 % больше чем образцы, которые были получены без использования вакуумирования в процессе прессования. А в ходе испытания высушенных образцов, образцы, полученные с использованием вакуумирования в процессе прессования выдерживали количество падений на резиновое основание на 30,7 % больше чем образцы, которые были получены без использования вакуумирования в процессе прессования.

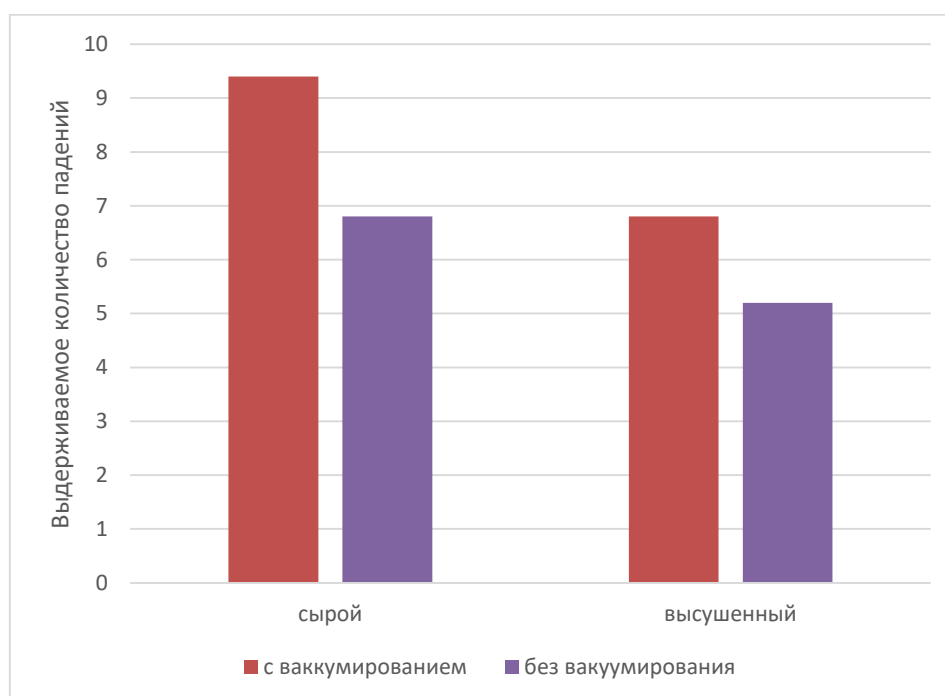


Рис. 4 – Результаты испытаний высушенных образцов на сбрасывание

Таким образом можно отметить что использование вакуумирования позволяет не только повысить прочность сырых образцов, но и способствует набору большей прочности в процессе последующего высыхания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование микро доменных печей для комплексной переработки отходов металлургического производства и углеобогащения / В. А. Белевитин, А. А. Саламатов, Е. Н. Смирнов [и др.] // Металлург. – 2021. – № 2. – С. 91-96.

2. Карамин, А. В. Анализ возможности использования крахмала в качестве связующего материала для брикетов из отходов металлургического производства / А. В. Карамин, В. А. Скляр, Е. А. Черменев // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : Материалы девятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 07 декабря 2022 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", 2023. – С. 23-28.
3. Скляр, В. А. Подбор связующих материалов для экструзионных брикетов из отходов металлургического производства / В. А. Скляр, А. В. Карамин // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы восемнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 17 декабря 2021 года. Том II. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", 2021. – С. 517-522.
4. Брикетты экструзии (брэкссы) для производства ферросплавов / Бижанов А.М., Курунов И.Ф., Подгородецкий Г.С. и др. // Металлург. 2012. № 12. С. 52.
5. Briquetting of Fine-Grained Residues from Iron and Steel Production Using Organic and Inorganic Binders / Lohmeier, L., Thaler, C., Harris, C., Wollenberg, R., Schröder, H.-W. // Steel Research International, 2022. – Vol. 91 (12), статья № 2000238
6. Fleischanderl, A. Fines briquetting — Improving the economics and closing the material loop at direct reduction plants / Fleischanderl, A., Brunner, C., Schwelberger, J. // (2019) Iron and Steel Technology, 16 (3), pp. 40-44.
7. Курунов, И. Ф. Исследование металлургических свойств брикетов из техногенного и природного сырья и оценка эффективности их применения в доменной плавке / И. Ф. Курунов, Э. М. Щеглов, В. Л. Емельянов [и др.] // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – 2008. – № 1. – С. 8-16.
8. Курунов, И. Ф. Опыт промывки горна доменных печей брикетами из окалины / И. Ф. Курунов, Э. М. Щеглов [и др.] // Металлург. – 2007. - № 6 – С. 36-39.

СОСТОЯНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ОСНОВНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Киселева Н.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
vip.vokiss@mail.ru

***Аннотация.** Правильный выбор сырья и применение передовых технологий обеспечивают создание огнеупоров нового поколения, способных выдерживать экстремальные условия высокотемпературного производства. Качество минерального сырья, его химико-минералогический состав напрямую определяет будущие эксплуатационные свойства огнеупора. В статье дан анализ сырьевой базы основных огнеупорных материалов.*

Ключевые слова: сырье; огнеупоры; бокситы; магнезит; графит; бадделит.

THE STATE OF THE RAW MATERIAL BASE OF THE MAIN REFRACTORY MATERIALS

Kiseleva N.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The right choice of raw materials and the use of advanced technologies ensure the creation of a new generation of refractories capable of withstanding extreme conditions of high-temperature production. The quality of the mineral raw materials, its chemical and mineralogical composition directly determines the future performance characteristics of the refractory. The analysis of the raw material base of the main refractory materials is carried out.*

Keywords: raw materials; refractories; bauxite; magnesite; graphite; baddelite.

Мировой рынок огнеупоров в 2020 году оценивался в 26,5 млрд долларов США. Ожидается, что в период с 2020 по 2029 год рынок огнеупоров будет расти на 4,2% в год и достигнет уровня 38,6 млрд долл. США к 2029 году [1].

В настоящее время отечественная и зарубежная промышленность использует для производства огнеупоров более 150 различных сырьевых материалов, в том числе более 100

веществ неорганического состава. Одним из важных критериев при выборе сырья является наличие и распространенность его в природе. Наибольшее практическое значение в настоящее время для производства огнеупоров имеют оксиды кремния, алюминия, магния, хрома, кальция, циркония, бериллия, соединения и смеси этих оксидов, а также углерод в виде кокса и графита.

Для производства высокоглиноземистых огнеупоров используют бокситы, корунд, минералы группы силлиманита (МГС) - андалузит, кианит, силлиманит и др. В огнеупорной промышленности кальцинированный боксит играет решающую роль в качестве огнеупорного заполнителя. Хотя в мире имеются богатые запасы бокситов, страны, производящие бокситы для огнеупорных материалов — это Китай и Гайана.

В России бокситы отнесены к стратегическим, дефицитным видам минерального сырья. Россия находится на девятом месте в мире по величине запасов бокситов и на седьмом месте – по их производству. В 2021 г. мировое производство бокситов составило 395 млн т, что на 4% больше предыдущего года. Основной рост произошел в Китае (+23%), Бразилии (+9,4%) и Казахстане (+7,7%). По состоянию на 01.01.2022 балансовые запасы бокситов в России составили 1 366,3 млн т, забалансовые – 517,6 млн т [2]. В 2021 г. в разработку было вовлечено 33,4% балансовых запасов, почти 90% из них – для производства металлургического глинозема; подготавливалось к эксплуатации 13,5% запасов, из которых 95% металлургических сортов. В нераспределенном фонде оставалось около половины балансовых запасов, большая часть которых (58%) неметаллургические.

В Белгородской области, разведано 17% запасов бокситов (руды 49,47% Al_2O_3 и 8,3% SiO_2 ; $\mu Si < 6$). Это Висловское и Мелихово-Шебекинское месторождения, но необходимость подземной разработки и нахождение вблизи г. Белгород, водоснабжение которого может быть нарушено при проведении горных работ, не позволяет рассчитывать на его вовлечение в эксплуатацию.

В России отсутствуют промышленные месторождения маложелезистых бокситов с содержанием Al_2O_3 более 80 %, но имеются многочисленные месторождения кианита $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (Al_2O_3 63,1 %, SiO_2 36,9 %). По запасам кианита Россия занимает первое место в мире. Проблема дефицита плавленного корунда может быть решена путем восстановительной плавки кианитового концентрата. Плавленный корунд можно получать также при восстановительной плавке огнеупорных глин и каолинов, но необходима предварительная агломерация гидроалюмосиликатного сырья.

Магнезиальные материалы и огнеупорные изделия на основе периклаза занимают ведущее место в структуре сырья благодаря исключительно высокой температуре плавления (выше 2800° С) и другим положительным свойствам. По состоянию на 2022 год Россия

обладала самыми большими запасами магнезита в мире, которые составляют около 2,3 млрд метрических тонн. Большинство разведанных запасов магнезита сосредоточено в Сибирском регионе – 94,3 %, Урал – 5,3 % и Дальний Восток – 0,4 %. Более 90 % запасов магнезита в России приходится на месторождения, которые находятся в мало освоенных районах, вдали от центров переработки и использования, что определяет малую рентабельность их разработки. Обладая запасами магнезита около 35% от мировых, мы испытываем дефицит сырья, который компенсируется значительными импортными поставками [3]. Ресурсный потенциал кристаллического магнезита находятся в Челябинской области, в Башкортостане, в Читинской области, в Еврейском АО. В настоящее время Группа Магнезит разрабатывает самое большое на континенте месторождение высококачественного магнезита - Тальское и Киргитейское месторождения, разведанные запасы которых составляют свыше 110 млн т (ресурсы на срок свыше 100 лет).

В связи с новой геополитической ситуацией в России появилась возможность получения чистого MgO из рапы Сиваша и группы озер, расположенных в северной части Крыма. Концентрация солей магния $MgCl_2$ и $MgSO_4$ выше, чем в океанической воде. Япония, США, Великобритания, Нидерланды, не имея достаточных запасов магнезита, получают периклаз из морской воды. Потенциальным сырьем для получения магнезии могут стать в разведанные подземные растворы бишофита $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ Волгоградской обл. [4].

В производстве хромосодержащих огнеупорных изделий используют хромитовые руды. Огнеупорные материалы на основе хромитового концентрата—это высокотемпературные материалы с уникальным комплексом свойств. В России хромовые руды являются стратегическим минеральным сырьем и относятся к группе дефицитных полезных ископаемых. Недостаточные объемы добычи связаны с низким качеством руд, это в основном бедные (45–30%) и убогие (30–10%) руды.

Мировые ресурсы хромовых руд оцениваются в 12 млрд т, запасы в 22 странах - около 1,8 млрд т. По состоянию на 01.01.2022, балансовые запасы хромовых руд в России составляют 51,4 млн т, забалансовые –3,4 млн т. В 2021 г. добыча хромовых руд велась на семи месторождениях из 30. Отечественной промышленностью разрабатываются руды, которые не требуют обогащения (Cr_2O_3 более 35%), и только четверть российских запасов соответствует этому уровню. В 2021 г. в разработку вовлечено 11,3% запасов страны, еще 7,9% заключено в подготавливаемых к освоению и разведываемых объектах. В нераспределенном фонде недр остается 80,7% запасов. Доля импорта в 2012–2019 гг. в 1,2–3,5 раза превышала отечественное производство и на 55–78% обеспечивал внутренний спрос. Главным поставщиком являлся Казахстан (87–95,6%), еще 3,8– 8,9% поступало из ЮАР. В 2021 г. видимое потребление снизилось еще на 7% — до 985 тыс. т, при этом доля российского сырья в нем составила 55%.

В краткосрочной перспективе в России возможен значимый рост добычи хромовых руд, прежде всего за счет ввода в эксплуатацию Южно-Сарановского месторождения в Пермском крае.

В огнеупорной промышленности графит применяют как один из видов углеродсодержащего сырья. Высокая огнеупорность и термостойкость, несмачиваемость жидкими шлаками и металлами предопределяет эффективное использование углеродсодержащих огнеупоров в плавильных печах. Графит входит в перечень стратегических, дефицитных видов минерального сырья, треть внутреннего потребления которого обеспечивается импортными поставками. В производство огнеупоров в основном идет природный графит (большой частью аморфной разновидности) из-за его меньшей пористости и невысокой стоимости.

Мировые запасы графита оцениваются в 370 млн т, мировые ресурсы превышают 1 700 млн т. Мировая добыча природного графита в 2022 г., составила 1 300 тыс. т, что на 15% выше уровня 2021 г. В основном она сосредоточена в Китае, крупными производителями также являются Мозамбик, Мадагаскар и Бразилия. По состоянию на 01.01.2021 балансовые запасы графита в России составляли 101 млн т, 2,8 млн т графита заключено в забалансовых запасах [2]. Запасы учтены на 12 месторождениях: трех — аморфного, девяти — кристаллического графита. Руды аморфного (скрытокристаллического) графита труднообогатимы и представляют промышленный интерес при среднем содержании графита не менее 75%. Россия обеспечивает 1,4% мировой добычи графита, занимая при этом шестое место в рейтинге мировых производителей. Степень освоенности отечественной сырьевой базы графита низкая – в Тайгинском (Челябинская обл.) и Курейском (Красноярский край) месторождениях, заключено всего 1,5% российских запасов, еще 12,9% — в подготавливаемом к освоению Союзном месторождении (Еврейский АО). В 2022 г. добыча графита в России выросла по сравнению с 2021 г. на 16% — до 18,8 тыс. т, и может вырасти в 2–2,5 раза за счет освоения Тополихинского участка Союзного месторождения.

Цирконистые бадделеитовые и плавлено-литые бадделеито-корундовые огнеупоры благодаря высоким показателям огнеупорности и коррозионной стойкости относятся к высоко востребованным материалам в металлургии. Наиболее важные из химических соединений — циркон $ZrSiO_4$ (ZrO_2 67,1 %, SiO_2 32,9 % концентрат) и бадделит являются сырьем для производства цирконистых огнеупоров. В большинстве случаев они извлекаются как попутные продукты переработки комплексных руд. Мировые запасы циркония составляют 38,6 млн т ZrO_2 ; ресурсы оцениваются в 373,7 млн т. Россия находится на третьем месте в мире после Австралии и ЮАР по величине запасов циркония с долей в 6%, достаточной для обеспечения внутренних потребностей страны. По состоянию на 01.01.2022 балансовые

запасы циркония составляли 12,4 млн т ZrO_2 , забалансовые запасы -12,9 млн т [2]. Освоенность российской минерально-сырьевой базы циркония невысока — в 2021 г. в разработку было вовлечено 3,4% запасов, на долю подготавливаемых к освоению и разведываемых объектов приходилось 28%, остальные 68,6% запасов находились в нераспределенном фонде. Примерно 15 % цирконового концентрата идет на производство огнеупоров. Крайне низкий объем производства и малый ассортимент огнеупоров с использованием цирконового концентрата в России объясняется в первую очередь отсутствием отечественного сырья. В настоящее время страна импортирует до 30 тыс. т в год цирконового концентрата. На территории РФ имеется 13 месторождений циркония, но эксплуатируется только одно — Ковдорское. Россия, экспортируя бадделеитовый концентрат (98–99% ZrO_2), закупает на внешних рынках цирконовый (65–66% ZrO_2), стоимость которого значительно ниже. За счет собственного производства потребности России удовлетворяются не более чем на 2–3 % [4]. Ввод в эксплуатацию в декабре 2021 г. Туганского россыпного месторождения в Томской области создает условия в перспективе для полного отказа от импорта в Россию циркониевого сырья.

Россия, являясь одной из богатейших стран по запасам природных полезных ископаемых испытывает недостаток в некоторых видах важнейшего качественного сырья, что сдерживает достижение необходимого высокого уровня свойств огнеупоров. В условиях истощения сырьевых запасов и необходимости импортозамещения, развитие минерально-сырьевой базы и экономически обоснованных технологий обогащения сырья является важной стратегической задачей. Кроме того, огнеупорная промышленность России имеет огромный экспортный потенциал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пресс-релиз Exactitude Consultancy: Мировой рынок огнеупоров <https://exactitudeconsultancy.com/ru/отчеты/19135/рынок-огнеупоров/#report-details>
2. Государственный доклад О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году Электронный ресурс: <https://gd2021.data-geo.ru/fuel/>
3. Сырьевая база магнезита России и перспективы её развития /Т.А. Щербакова, А.И. Шевелёв. Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/n/syrievaya-baza-magnezita-rossii-i-perspektivu-eyo-razvitiya>
4. Состояние производства и сырьевой базы цирконистых огнеупоров в России / В. А. Соколов // Новые огнеупоры.— №11.— 2013.— С.14-17.

5. Перепелицын В. А., Яговцев А. В. Сырьевые проблемы огнеупорного производства России и направления их решения // Новые огнеупоры №3.– 2016.– С.20-23.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЧЁРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Кочергина И.Н., Кочергин Н.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
kochergina-irina@yandex.ru

***Аннотация.** Приведены сравнительные показатели выбросов CO₂ в различных секторах производства. Рассмотрены реакции восстановления железа из оксидов газообразными восстановителями (оксидом углерода, водородом). Сделан вывод о том, что для применения водородных технологий в чёрной металлургии необходимо интенсивное развитие научных разработок в области модернизации оборудования и технологических цепочек с доказательной базой своей эффективности.*

Ключевые слова: углекислый газ; чёрная металлургия; шахтная печь металлизации; восстановление оксидов железа; водородные технологии.

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF HYDROGEN TECHNOLOGIES IN FERROUS METALLURGY

Kochergina I.N., Kochergin N.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

***Abstract.** Comparative indicators of CO₂ emissions in various sectors of production are presented. Reactions of reduction of iron from oxides by gaseous reducing agents (carbon monoxide, hydrogen) are considered. It is concluded that for the application of hydrogen technologies in ferrous metallurgy, intensive development of scientific developments in the field of modernization of equipment and technological chains with an evidence base of their effectiveness is necessary.*

Keywords: carbon dioxide; ferrous metallurgy; mine metallization furnace; reduction of iron oxides; hydrogen technologies.

Металлургическая промышленность занимает важное место в мировом производстве, снабжая строительство, транспорт, энергетический сектор и другие отрасли необходимыми материалами. В то же время, она считается одним из основных источников выброса углекислого газа (CO₂). Углекислый газ способствует проникновению ультрафиолетовых лучей и других лучей видимой части спектра, попадающих с Солнца на Землю, и обогревает её. Вместе с тем CO₂ поглощает испускаемые нашей планетой инфракрасные лучи и является одним из парниковых газов, который способствует процессу глобального потепления. Этот процесс оказывает пагубное воздействие на экосистемы и биоразнообразие по всему миру.

Однако, по мнению Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), а также Международного энергетического агентства (МЭИ) и других известных рейтинговых агентств, основной отраслью по выбросам CO₂ на сегодняшний день является энергетика (рис. 1) [4].

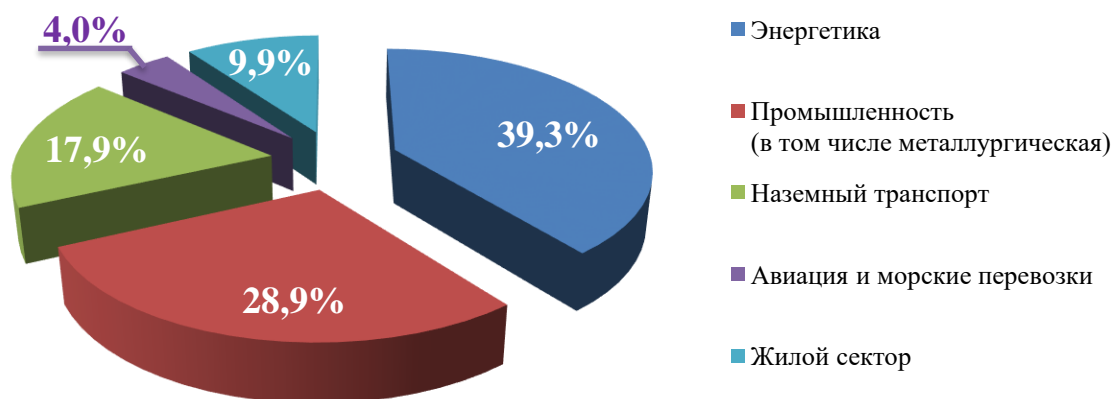


Рис. 1 – Отраслевая структура мировых антропогенных выбросов CO₂ в 2022 г.

Задача снижения образования отходов производства и удельных выбросов вредных веществ в окружающую среду с позиции Стратегии развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года в союзе с Принципами устойчивого развития металлургической отрасли является одной из наиболее приоритетных [1 - 3].

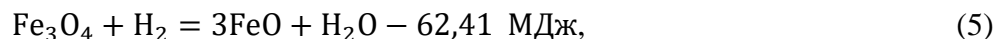
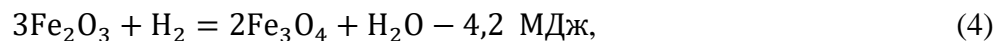
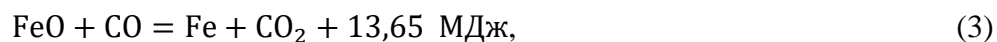
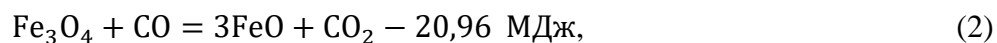
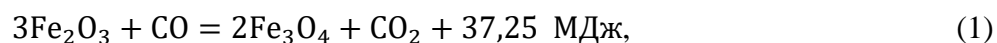
Металлургический производственный процесс состоит из нескольких технологических ступеней, в которых образуется диоксид углерода CO₂ (парниковый газ), таких как сжигание органического топлива, выгорание углерода из полуфабрикатов и разложение составляющих флюсов. Отметим, что объёмы образования диоксида углерода неодинаковы, и зависят от конкретной технологической схемы.

Но, несмотря на стереотип о металлургии как о «грязной» отрасли, крупные компании, включая российские, активно внедряют и разрабатывают новые экологичные технологии, улучшают производственные процессы и обмениваются опытом с коллегами в течение последних десятилетий.

Процесс Midrex, известный своей наибольшей эффективностью среди других классических схем металлургического производства в вопросах охраны окружающей среды, внедрён на предприятиях чёрной металлургии ООО УК «Металлоинвест» [5]. Основным элементом данного процесса является шахтная печь металлизации, в которую загружаются окисленные окатыши, проходящие под действием силы тяжести зону восстановления и охлаждения. В ходе процесса через фурмы, расположенные посередине печи, подаётся восстановительный газ. В качестве источника получения восстановителя используется природный газ, который вырабатывается в реформере. Газ нагревает шихту, состоящую из обожженных окатышей с высоким содержанием железа, перемешанных с мелкими фракциями (рудной мелочью), и восстанавливает содержащиеся в ней оксиды FeO, Fe₂O₃ и Fe₃O₄. На выходе из печи газ насыщен CO₂ и H₂O.

В качестве перспективной альтернативы природному газу заслуживает внимание технология производства стали на водородной основе, где восстановителем является газообразный водород (H₂), что в свою очередь позволит избавиться от выбросов CO₂ в окружающую среду. Передовые металлургические предприятия уже используют такие инновационные технологии в своих пилотных проектах. Действительно, водород может стать важным элементом в переходе металлургической отрасли к более чистым и экологичным технологиям.

Тем не менее, переход на водородную технологию в металлургической промышленности представляет собой значительный инновационный рывок. Это связано с высокими затратами на создание новой инфраструктуры для производства и хранения водорода, в том числе на организацию новых производственных цепочек. Кроме того, генерация чистого водорода может привести к необходимости расширения мощностей возобновляемых источников энергии. Еще одним существенным отличием производства стали на водородной основе от традиционной технологии заключается в том, что для этого требуется большое количество внешней энергии. Чтобы подтвердить данный факт, рассмотрим научные труды российского учёного в области металлургии Юсфина Ю.С., который подробно описал теоретические основы процессов, протекающих при восстановлении железорудных материалов, в том числе реакции восстановления оксидов железа газообразными восстановителями [6]:



Далее приведем реакции восстановления магнетита до железа:



Отметим, что реакция (7) сопровождается выделением тепла, а реакция (8) – поглощением.

Из реакций (1) – (3) видно, что суммарный тепловой эффект восстановления оксидов железа оксидом углерода – слабо положительный (≈ 230 кДж/кг железа), а от восстановления оксидов железа водородом (реакции (4) – (6)) – отрицательный (≈ 880 кДж/кг железа).

Условия равновесия реакций (1) – (6) можно рассмотреть в графическом виде на диаграммах равновесия Fe – O – CO и Fe – O – H₂ (рис. 2). На диаграмме буквенно обозначены линии, показывающие изменения равновесного состава газовой фазы в зависимости от температуры для указанных реакций (1) – (6), (7), (8).

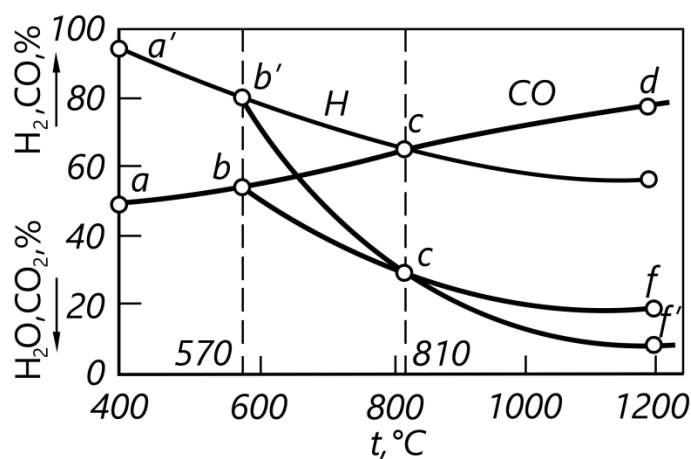


Рис. 2 – Диаграммы равновесия Fe – O – CO и Fe – O – H₂

Реакция, соответствующая уравнению (7) отображена линией a – b, линия b – f отображает уравнение (2), линия b – d отображает уравнение (3), линия a' – b' отображает уравнение (8), линия b' – f' отображает уравнение (5), линия b' – d' отображает уравнение (6). На диаграмме отсутствуют линии, соответствующие реакциям (1) и (4), так как они близки к оси абсцисс. С помощью этой диаграммы можно узнать состав газа, необходимого для полного восстановления оксидов железа. Процесс восстановления железа из оксидов происходит последовательно, представляя собой ступенчатый характер, где высшие оксиды переходят в низшие по следующей схеме: Fe₂O₃ → Fe₃O₄ → FeO → Fe (выше 570 °C) или Fe₂O₃ → Fe₃O₄ → Fe (ниже 570 °C). По данной диаграмме можно сделать вывод о том, что газ, который несостоятелен для восстановления оксида железа FeO, может быть использован для восстановления Fe₃O₄ до FeO. Такое условие даёт возможность для восстановления высших оксидов железа до FeO при пониженных температурах в начале процесса восстановления, что может наблюдаться в верхней части шахтной восстановительной печи.

Анализируя графики равновесия реакций восстановления оксидов железа оксидом углерода, можно сказать, что восстановление высших оксидов происходит в неосложнённом формате, в отличие от восстановления FeO. Протекание реакций (1) и (2) характеризуются незначительной объёмной величиной газа-восстановителя в газовой среде. Для восстановления же FeO концентрация CO в газовой фазе должна быть намного выше, и с повышением температуры требуется больше восстановителя.

Восстановление оксидов железа оксидом углерода и водородом проходит не одинаково. Это демонстрируют уравнения реакций (1) – (6). При температурах ниже 810 °C водород проявляет более слабые восстановительные качества чем CO, на том основании, что равновесная концентрация водорода в смеси превышает равновесное содержание оксида

углерода. А при температуре выше 810 °С более сильным восстановителем проявляет себя водород. Стоит отметить, что суммарный тепловой эффект реакции восстановления оксидов железа водородом имеет отрицательное значение и в четыре раза превышает суммарный эффект реакций восстановления оксидов железа оксидом углерода, который, наоборот, является положительным. В связи с этим можно сделать вывод о том, что для применения только водорода как газа-восстановителя требуется дополнительное количество внешней энергии, что в свою очередь потребует модернизации оборудования и технологий для обеспечения эффективного процесса восстановления в данном случае. Для осуществления такого замысла необходимы научные разработки, подтверждающие эффективность применения водородных технологий, не только проведенные в лабораторных условиях, но и доказанные в пилотных проектах непосредственно в условиях производства. К тому же, все эти действия будут сопряжены с привлечением серьёзных инвестиций.

Существует ещё один немаловажный нюанс, который сопровождает технологию восстановления железа водородом – конечный продукт восстановления – железо и вода (в процессе восстановления не возникает лишних примесей). Данный факт влечёт за собой потребность к увеличению температуры плавления металлизированного продукта при непрерывной загрузке в ДСП. Так как в соответствии с диаграммой «железо – углерод» при переплавке металлизированного продукта, содержащего углерод, температура его плавления ниже на 100 ÷ 150 °С (в зависимости от содержания в них углерода), чем у металлизированного продукта, не содержащего углерод. Кроме того, низкое содержание углерода в металлизированном продукте или полное его отсутствие может привести к ухудшению эффективности его плавления при непрерывной загрузке за счёт снижения конвективной составляющей. Отмеченные выше особенности могут привести к повышению энергоёмкости переплавки такого вида сырья, что приведёт к снижению технико-экономических показателей электроплавки (удельный расход электроэнергии, производительность и др.) [7].

В рассуждении сего, следует признать, что полный отказ от углеродсодержащих восстановителей в описанном случае может быть нецелесообразен.

Было бы неверно считать или утверждать, что CO₂ представляет собой отходы. Отработанные газы можно эффективно использовать в процессах новых видов продукции, а также в качестве сырья для нужд металлургической, химической и энергетической отраслей.

Всё же есть вероятность, что в ближайшем будущем металлургия станет полностью «зелёной» отраслью, характеризующейся минимальным количеством отходов и вредных выбросов в атмосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды». – от 10.01.2002 г. № 7–ФЗ (ред. от 05.10.2015). // СПС Консультант плюс : [сайт]. URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ – Текст : электронный.
2. Приказ Минпромторга России от 05.05.2014 № 839 «Об утверждении Стратегии развития черной металлургии России на 2014 - 2020 годы и на перспективу до 2030 года и Стратегии развития цветной металлургии России на 2014 - 2020 годы и на перспективу до 2030 года» // СПС Консультант плюс : [сайт]. URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165502/ – Текст : электронный.
3. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» // СПС Консультант плюс : [сайт]. URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/ – Текст : электронный.
4. Шестой отчёт Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) – Режим доступа: свободный. – URL: <https://www.ipcc.ch/languages-2/russian/> (дата обращения: 12.10.2023). – Текст : электронный.
5. Midrex.com : Midrex Technologies, Inc. : [сайт]. – Режим доступа: свободный. – URL : <https://www.midrex.com/direct-from-midrex/> (дата обращения: 16.10.2023). – Текст : электронный.
6. Теория металлизации железорудного сырья / Ю. С. Юсфин, В. В. Даньшин, Н. Ф. Пашков, В. А. Питателев. – Москва : Металлургия, 1982. – 256 с. – Текст : непосредственный.
7. Электрометаллургия и металлургия стали : учебник / В.Е. Рощин, А.В. Рощин. – Москва : Вологда :Инфра-Инженерия, 2021. – 576 с. – ISBN 978-5-9729-0630-7. – Текст : непосредственный.

ОЦЕНКА УВЕЛИЧЕНИЯ ОБРЕЗИ РАСКАТА ПРИ ПРОКАТКЕ СЛЯБОВ С ВЫСТУПОМ ТОРЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ВИДЕ СТУПЕНЬКИ

Кун А.С., Белолипецкая Е.С., Соловьёв В.Н.

ФГБОУВО Липецкий государственный технический университет, Россия, Липецк

sasha.kun@bk.ru +7 912-068-93-24, belolipetskaya_es@mail.ru +7-952-593-49-37

solovyovvn@mail.ru +7-910-350-23-05

***Аннотация.** Образование выступа на торцевой поверхности сляба в виде ступеньки на установке непрерывной разливки стали в конвертерном цехе должно приводить к увеличению обреза раската на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки полос. Проведены оценка увеличения обреза раската при прокатке слябов с выступом торцевой поверхности в виде ступеньки.*

Ключевые слова: сляб; дефект; ступенька; непрерывный широкополосный стан горячей прокатки полос.

ESTIMATION OF THE INCREASE IN THE ROLLING EDGE WHEN ROLLING SLABS WITH A PROTRUSION OF THE END SURFACE IN THE FORM OF A STEP

Kun A.S., Belolipetskaya E.S., Solovyov V.N.

Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk

***Abstract.** The formation of a protrusion on the end surface of the slab in the form of a step on a continuous steel casting plant in a converter shop should lead to an increase in the rolling edge on a continuous broadband strip hot rolling mill. An assessment of the increase in the cut of the roll when rolling slabs with a protrusion of the end surface in the form of a step is carried out.*

Keywords: the slab; defect; step; continuous broadband strip hot rolling mill.

Жидкая сталь из сталеплавильного ковша разливается на непрерывные слябы на установках непрерывной разливки стали (машинах непрерывного литья заготовок). Конструкции установок непрерывной разливки стали (УНРС) подразделяются на вертикальные, радиальные и криволинейные. Преимущественно на УНРС плавка промежуточным ковшом делится на два ручья. Ручьи поступают в две разливочные машины. Общим является наличие кристаллизатора и вторичной зоны охлаждения. Непрерывный сляб на выходе машин преимущественно разделяется газовой резкой [1].

Передвижные машины газовой резки относительно просты по конструкции с возможностью быстрой замены узлов. Резка непрерывного сляба на мерные длины производится двумя газовыми резаками, установленными на подвижной платформе. Платформа оборудована захватами, которые прижимаются к слитку гидроцилиндрами и обеспечивают перемещение машины движущимся слитком. Газовые резаки движутся навстречу друг другу, а платформа перемещается со скоростью слитка (рисунок 1).

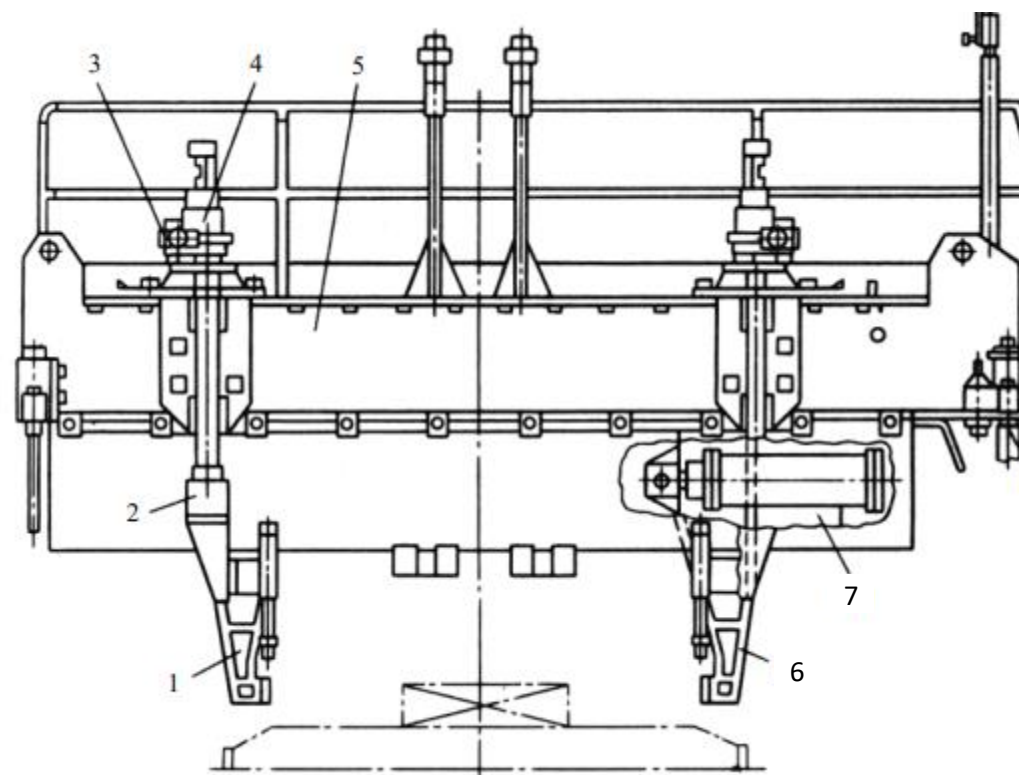


Рис. 1 – Передвижная машина газовой резки

1 – газовый резак; 2 – держатель; 3 – суппорт; 4 – механизм вертикального перемещения;
5 – рама; 6 – захваты; 7 – цилиндры перемещения захватов.

Во время резки металл сгорает. Считается, что основной недостаток газовой резки – существенные потери металла, составляющие 1-2 % [2]. Однако потери металла могут быть больше.

Газовые резаки закрепляются в держателях. Если резаки закрепить не в одной плоскости, то на торце сляба образуется выступ торцевой поверхности в виде ступеньки (рисунок 2). Ступенька образуется на всех предприятиях как в России, так и за рубежом. При дальнейшей прокатке и обрезки передних и задних концов эта ступенька может увеличивать расход металла.

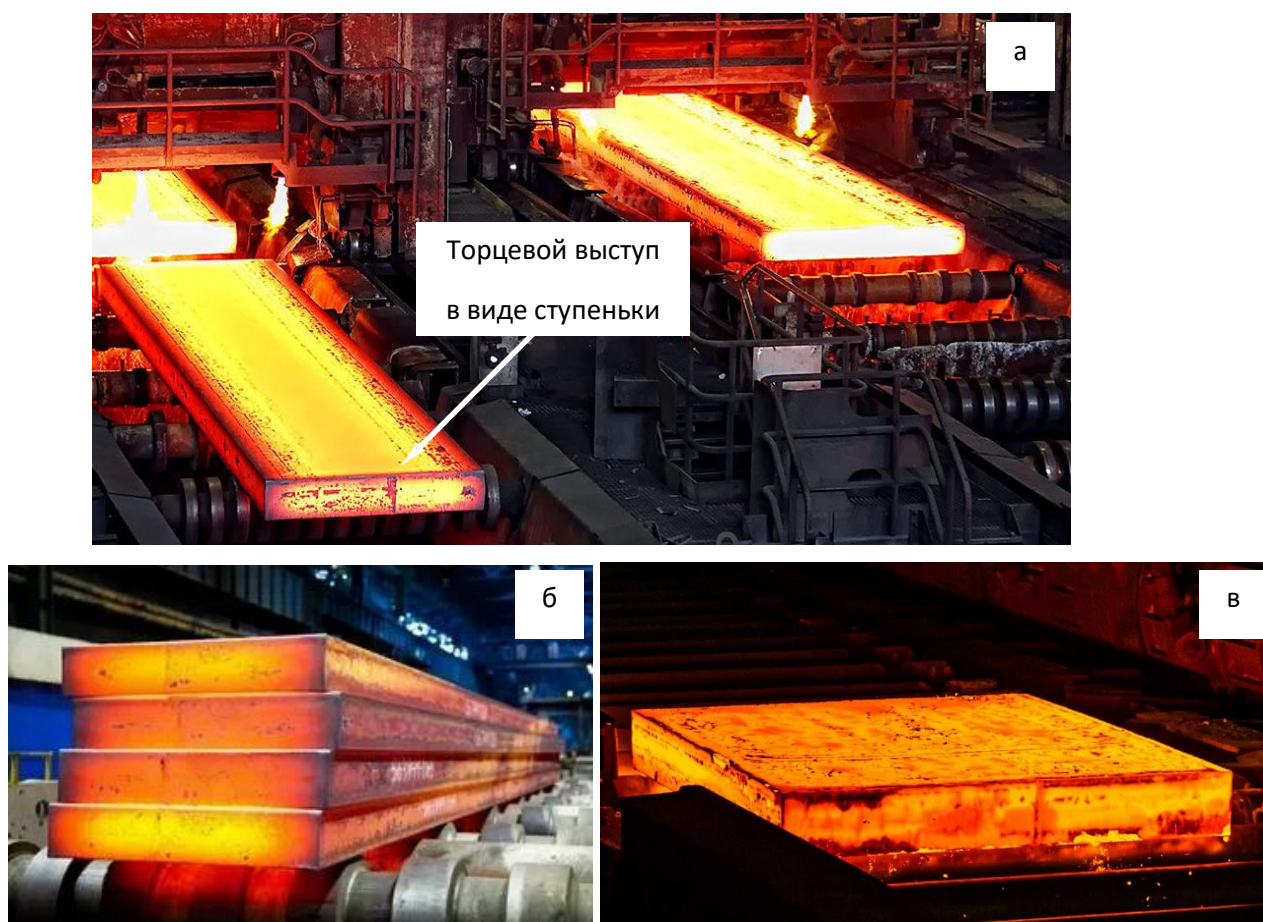


Рис. 2 – Торцевая поверхность сляба после отделения от непрерывного слитка
 а – образование ступеньки; б – слябы для производства тонкого листа;
 в – сляб для производства толстого листа.

Ступенька торцевой поверхности при деформации на непрерывном широкополосном стане горячей (НШСГП) прокатки сохраняется в виде выступающей части на концах раската. При обрезке раската перед чистовой группой выступающая часть увеличивает величину обреза. Рассчитаем увеличение обреза на примере НШСГП 2000.

Стан 2000 имеет в своем составе: участок загрузки, участок нагревательных печей, черновую группу клетей, промежуточный рольганг, чистовую группу клетей и уборочную линию стана. Черновая группа состоит из пяти клетей расположенных последовательно. Расстояние между клетями черновой группы увеличивается по мере прохождения металла через клетки. Это связано с тем, что после каждого прохода через клеть раскат удлиняется. Чистовые семь клетей образуют непрерывную группу.

Между черновой и чистовой группами клетей расположен промежуточный рольганг длиной 120 м. Такую длину он имеет для возможности сброса брака, недоката или толстого листа на параллельный стеллаж. Раскат имеет толщину от 22 до 38 мм. Перед чистовой

группой клетей установлены летучие ножницы. Ножницы обрезают передний и задний концы раската.

Примем величину выступа ступеньки 15 мм, толщину сляба 250 мм, ширину сляба 1250 мм и толщину раската 35 мм. Ширину выступа торцевой поверхности сляба (ступеньки) примем равной половине ширине сляба. Вытяжка в черновой группе составит 7,1. Соответственно, на участке ступеньки образуется дополнительный выступ длиной 106 мм. Примем, что выступ неровный – используем коэффициент 0,5. Тогда объем «лишней» части обреза составит 0,0011 м³. Соответственно, если принять плотность стали равной 7,8 т/м³, то масса обрезаемой части составит 0,085 т. Примем среднюю массу рулона равную 25 т. Тогда расход металла увеличится на 3,4 кг/т.

Объем производства НШСГП составляет около 6 млн. т в год. Если принять, что только 1 % слябов выходит со ступенькой, то объем дефектных слябов составит 60000 т. Увеличение расхода металла составит 204 т. Определим увеличение продаж от сокращения обреза. При минимальной стоимости горячекатаного проката в толщине 3,0 мм шириной 1250 мм из стали марки Ст3 равной 69500 руб/т [3] увеличение продаж только горячекатаного проката составит 14 178 000 рублей в год.

Действительное количество слябов со ступенькой не известно. Определение количества слябов со ступенькой и величины ступеньки достаточно сложная задача и будет выполняться на следующем этапе исследований.

Выводы

Небольшое несоответствие расположения газовых горелок на выходе УНРС конвертерного цеха в пределах 15 мм приводит к образованию на торце сляба выступа в виде ступеньки. Ступенька на торцевой поверхности сляба может приводить к существенному увеличению обреза раската в линии НШСГП цеха горячей прокатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Практика непрерывной разливки сталей / А.В. Куклев, А.В. Лейтес. – М.: Metallurgizdat, 2011. – 432 с.
2. Непрерывная разливка стали и сплавов: учебное пособие / Н.А. Козырев, Р.А. Гизатулин, Д.А. Валуев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 406 с.
3. Сайт НЛМК <https://nlmk.shop/catalog/hot-rolled-products/sub-hot-rolled-steel/gkprokat-3>

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ

Лазарева О.Р., Тимофеева А.С., Короткова Л.Н.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. В данной статье представлено исследование таких физических свойств сырых окатышей, как плотности, пористость, прочность, отображено исследование влияния гранулометрического состава сырых окатышей на их свойства, выполненное в лабораторных условиях СТИ НИТУ «МИСИС».

Ключевые слова: сырые окатыши; диаметр окатыша; свойства окатышей.

STUDY OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF RAW PELLETS

Lazareva O.R., Timofeeva A.S., Korotkova L.N.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

Abstract. The article presents a study of the chemical granulometric composition of raw pellets for their properties, carried out in laboratory conditions at the National Research University of Science and Technology "MISIS".

Keywords: raw pellets; pellet diameter; pellet properties.

Получение качественных сырых окатышей является важной задачей в подготовке сырья, так как напрямую влияет на получение качественных обожженных окатышей и в дальнейшем готовой продукции.

Высокая механическая прочность окатышей, получаемая в процессе обжига при температуре 1250-1350 °С позволяет хранить их в течение неограниченного времени и транспортировать на дальние расстояния [1, стр. 52].

При окомковании получают окатыши разных фракций. В данной работе исследуется влияние гранулометрического состава на свойства сырых окатышей и исследование этого влияния на экспериментах в лабораторных условиях.

Работа была проведена в условиях лаборатории кафедры металлургии и металловедения СТИ НИТУ «МИСИС». Для экспериментов были взяты сырые окатыши с рабочего конвейера цеха окомкования АО «ОЭМК» массой 6 кг.

Основной рабочий класс сырых окатышей на производстве АО «ОЭМК» -окатыши с диаметром более 10мм и до 16мм. Окатыши были рассеяны с помощью сит по фракциям: 10мм; 10,6мм;11,2 мм; 12мм; 14мм;16мм и двум классам (таблица 1)

Таблица 1 – Данные по рассеву сырых окатышей

Класс, мм	Масса, г (%)	Фракция, мм	Масса, г (% в классе)	% в общей массе окатышей
10-11,2	291,2 (11,46)	10	77,02 (26,25)	3,03
		10,6	93,29 (32,03)	3,67
		11,2	98,58 (33,85)	3,88
12-16	2248,16 (88,54)	12	1242,16 (55,25)	48,92
		14	721,69 (32,10)	28,42
		16	284,31 (12,65)	11,20

В соответствии с таблицей содержание окатышей класса +12-16мм на 78% больше, чем 1 класса. Это как раз те окатыши, которые дают хорошие результаты при обжиге. Если рассматривать по фракциям, то максимальное значение имеют окатыши с диаметром 12мм - почти 50%, наименьшее 10мм - практически 3%.

Учитывая содержание фракций в каждом классе и количество испаренной воды после сушки в печи при температуре 100⁰С, по массе испаренной воды определили влажность каждого класса сырых окатышей.

Истинную плотность окатышей определяли по пикнометру [2] в результате данные эксперимента истинной плотности равны 4135,74 кг/м³. Далее, закрыв в сухих окатышах поры с помощью расплавленного при температуре 65 °С парафина, определили объемную плотность.

Окатыши каждой фракции (по 5 штук) вначале высушили, затем взвесили каждый в отдельности, после этого, покрыли парафином и повторно взвесили. Используя мензурку, определили объем каждого окатыша с парафином, а затем, зная массу парафина и его плотность, нашли его объем.

В результате объем окатыша с порами будет равен разности объема окатыша с парафином с вычетом объема парафина. По этим данным определили объемную плотность окатышей.

Зная объемную и истинную плотность окатышей определили пористость окатышей по формуле:

$$П = \left(1 - \frac{\rho_{об}}{\rho_{ист}}\right) \cdot 100\% , \quad (1)$$

где $\rho_{об}$ – объемная плотность, г/см³;

$\rho_{ист}$ – истинная плотность, г/см³

Каждую фракцию определяли на прочностные свойства: на сжатие и удар, используя методики [4], [5]. При выполнении экспериментов на каждое свойство брали не менее 5 окатышей, а затем результаты усредняли и строили графики по усредненным значениям.

Результаты исследований даны на рисунках 1-4.

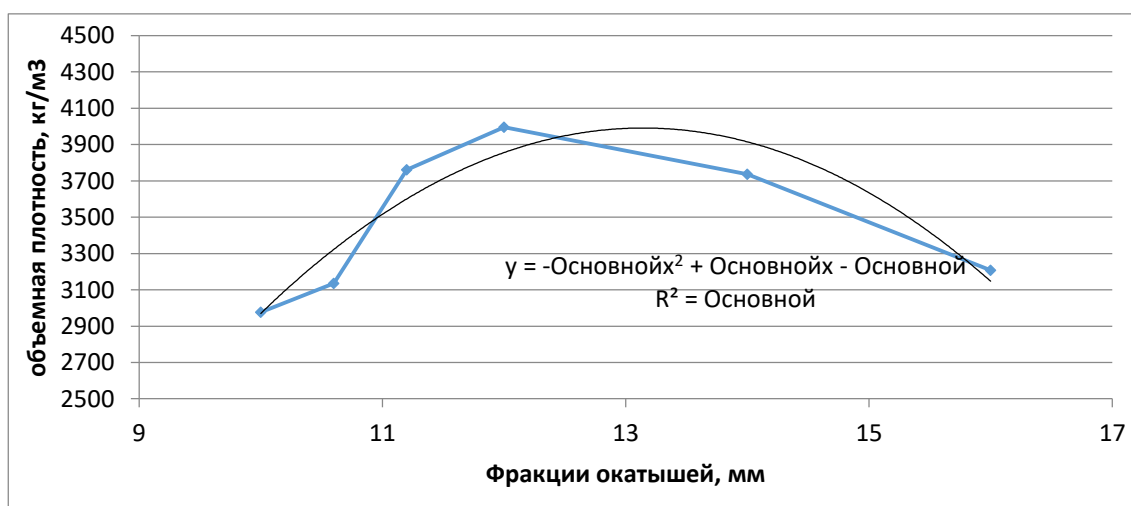


Рис. 1 – Определение объемной плотности сырых окатышей в зависимости от фракции

Объемная плотность с изменением фракционного состава окатышей изменяется. До 12мм она возрастает, а потом уменьшается. Это видимо, связано с тем, что большие окатыши не успевают уплотниться при движении по окомкователю.

Объемная плотность и пористость связаны между собой и в зависимости от фракций они меняются (рис.2). С увеличением объемной плотности окатышей до 12мм плотность увеличивается, т.к. для небольших окатышей достаточно времени нахождения в окомкователе, чтобы схлопнулись воздушные поры, в результате чего увеличивается плотность. При этом пористость становится меньше. При дальнейшем увеличении фракционного состава пористость увеличивается. То есть самая низкая пористость у окатышей 12мм. Это может влиять на дальнейшую термообработку.

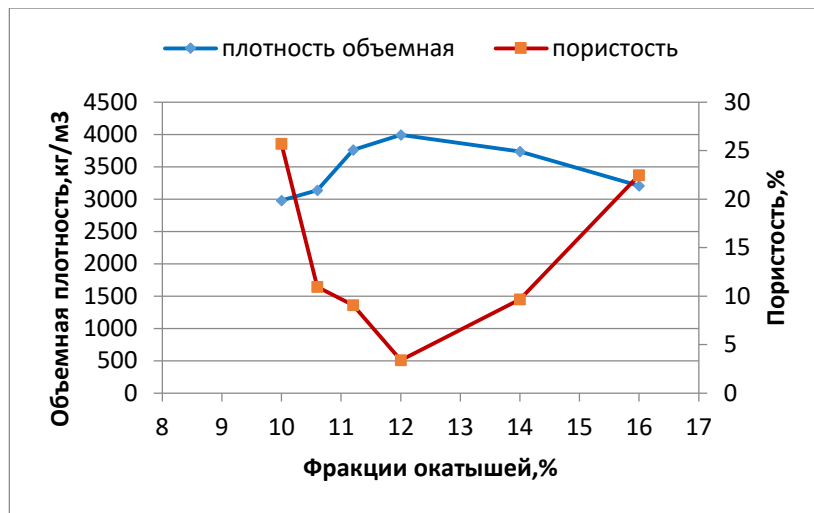


Рис. 2 – Влияние фракционного состава окатышей на объемную плотность и пористость

Рассматривая данные по влажности окатышей можно заметить, что она резко растет до 12мм, а затем практически не меняется (рис.3).

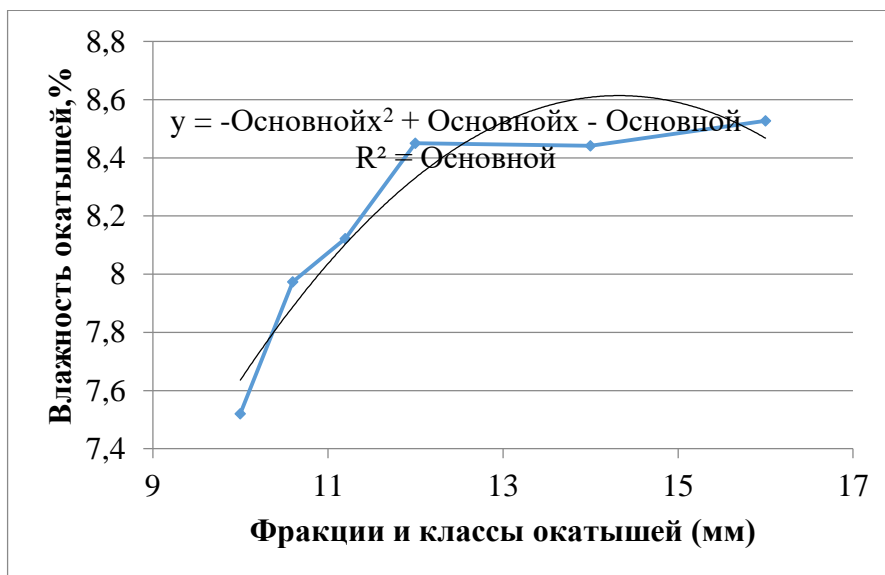


Рис. 3 – Исследование влажности сырых окатышей

Важнейшим металлургическим свойством окатышей является их прочность, влияющая на возможности транспортировки их к обжиговой машине и загрузке в тележки [3].

В ходе выполнения исследований [4], [5] на прочностные свойства, были получены результаты, представленные на рисунке 4.

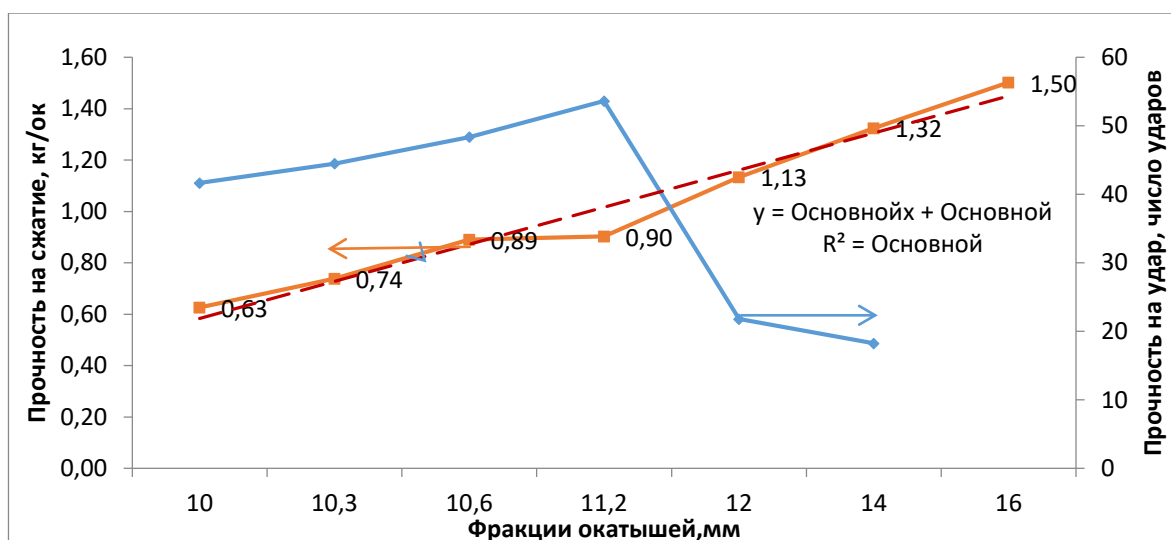


Рис. 4 – Влияние фракционного состава сырых окатышей на прочностные свойства

Исходя из графика видно, что наибольшую прочность на сбрасывание имеют окатыши от 10 до 12 мм, тогда как прочность на сжатие, наоборот, увеличивалась с ростом диаметра окатыша. Это связано с тем, что сечение окатыша больше и распределение получилось на единицу площади меньше.

В ходе выполнения исследований были получены данные, необходимые для проверки качественных характеристик сырых окатышей и, как следствие, готовой металлургической продукции. Данные результаты могут быть использованы для эффективного подбора класса сырых окатышей на производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братковский Е.В., Заводяный А.В., Пареньков А.Е. Лабораторный практикум по дисциплине «Экстракция черных металлов из природного и техногенного сырья» для студентов, обучающихся по направлению «Металлургия». – Орск: «Маркет сервис», 2008. – 112 с.
2. ГОСТ 25732–88. Руды железные и марганцевые, концентраты, агломераты и окатыши. Методы определения истинной, объемной, насыпной плотности и пористости. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19.12.88 N 4235.
3. Тимофеева, А.С. Теплофизические особенности производства окатышей и металлизированного продукта: учебное пособие /А.С. Тимофеева, Е.С. Тимофеев– Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 204 с.

4. ГОСТ 24675–81. Окатыши железорудные. Методы определения прочности на сжатие. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18.05.81 N 2435.

5. ГОСТ 24675–81. Руды железные, агломераты и окатыши. Методы определения прочности на сбрасывание. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 10.10.82.

ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Лукьянов И.Е.¹, Сазонов А.В.², Сурков В.П.², Новоточинов А.П.², Федина В.В.²

¹ Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(ГФ НИТУ «МИСИС»)

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. Поток лазерного излучения, проходя вблизи поверхности металла, способен огибать малые неровности, благодаря дифракции света. Часть отражённых световых волн в результате сложения с ближайшими прямолинейно распространяющимися лучами создают интерференционную картину на проекционном экране. Измерив ширину интерференционных полос, можно оценить среднюю высоту шероховатостей поверхности металла.

Ключевые слова: интерференция; разность хода лучей; условие интерференционного максимума; монохроматический свет; когерентные световые волны.

MEASURING THE AVERAGE HEIGHT OF SURFACE ROUGHNESS METALS BY INTERFERENCE METHOD

Lukyanov I.E.¹, Sazonov A.V.², Surkov V.P.², Novotochinov A.P.², Fedina V.V.²

¹ Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, Belgorod region, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str.,

16

² Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

Abstract. The laser radiation flux passing near the metal surface is able to bend around small irregularities due to light diffraction. Some of the reflected light waves, as a result of addition with the nearest rectilinearly propagating rays, create an interference pattern on the projection screen. By measuring the width of the interference fringes, it is possible to estimate the average height of the roughness of the metal surface.

Keywords: interference; ray path difference; interference maximum condition; monochromatic light; coherent light waves.

Рассмотрим интерференционную картину в эксперименте Юнга. В опыте пучок монохроматического света направляется на непрозрачный экран-ширму с двумя параллельными прорезями (щелями), позади которого устанавливается проекционный экран. Ширину прорезей стараются сделать как можно ближе к длине волны излучаемого света (влияние ширины прорезей на интерференцию рассматривается ниже). На проекционном экране получается целый ряд чередующихся интерференционных полос, что и было продемонстрировано Томасом Юнгом. Если исходить из того, что свет состоит из частиц (корпускулярная теория света), то на проекционном экране можно было бы увидеть только две параллельные полосы света, прошедшие через щели. Между ними проекционный экран оставался бы практически неосвещённым. С другой стороны, если предположить, что свет представляет собой распространяющиеся волны (волновая теория света), то, согласно принципу Гюйгенса, каждая щель является источником вторичных волн. Вторичные волны достигнут точек, находящихся на равном удалении от щелей, в одной фазе, следовательно, на серединной линии экрана их амплитуды сложатся, что создаст максимум яркости. То есть, главный, наиболее яркий максимум окажется там, где, согласно корпускулярной теории, яркость должна быть нулевой. Боковые максимумы расположатся симметрично по обеим сторонам в точках, для которых разность хода световых пучков равна целому числу волн. С другой стороны, в тех точках на удалении от центральной линии, где разность хода равна нечётному числу полуволн, волны окажутся в противофазе — их амплитуды компенсируются, что создаст минимумы яркости (тёмные полосы). Таким образом, по мере удаления от средней линии яркость периодически изменяется, возрастая до максимума и снова убывая.

Интерференцию возможно наблюдать только для когерентных источников света, но создать два различных когерентных источника практически невозможно. Поэтому все интерференционные опыты базируются на создании при помощи различных оптических систем двух или нескольких вторичных источников из одного первичного, которые будут когерентны. В опыте Юнга когерентными источниками являются две щели в экране.

Интерференционная картина возникает на экране, когда ширина щелей приближается к длине волны излучаемого монохроматического света. Если ширину прорезей увеличивать, то освещённость экрана будет возрастать, но выраженность минимумов и максимумов интерференционной картины будет падать вплоть до полного её исчезновения.

Частота следования интерференционных полос увеличивается прямо пропорционально расстоянию между щелями, в то время как ширина дифракционной картины остаётся неизменной и зависит только от ширины щелей.

Опыт Юнга с двумя щелями повторить вне лаборатории непросто, так как непросто изготовить подходящей ширины щели. Однако с успехом можно воспроизвести самыми простыми средствами опыт интерференции от двух малых отверстий, суть происходящих при этом физических явлений не изменяется.

Расчёт интерференционной картины в опыте Юнга

Разность хода можно выразить через тригонометрические соотношения

$$\Delta d = d \cdot \sin \alpha = d \cdot \frac{X}{\ell}$$

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \frac{X}{\ell}$$

$$\Delta d = k \cdot \lambda$$

$$X = \frac{\Delta d \ell}{d}$$

$$\lambda = d \cdot \frac{X}{\ell} \Rightarrow$$

$$X = \frac{\lambda \cdot \ell}{d}$$

Расстояние между интерференционными полосами зависит от длины волны λ , расстояния от мнимых источников до экрана ℓ и расстояния между источниками d

Рис. 1 – Расчет интерференционной картины в опыте Юнга

Очень важным опытом по интерференции является эксперимент Ллойда.

Зеркало Ллойда — оптическая система для наблюдения интерференции световых волн. В эксперименте свет от источника монохроматического излучения отражается от поверхности зеркала под небольшим углом отражения и интерферирует со светом, идущим непосредственно от источника. Таким образом, источниками когерентных волн служат реальный источник света и его мнимое изображение. На рис.2 представлена схема данного эксперимента.

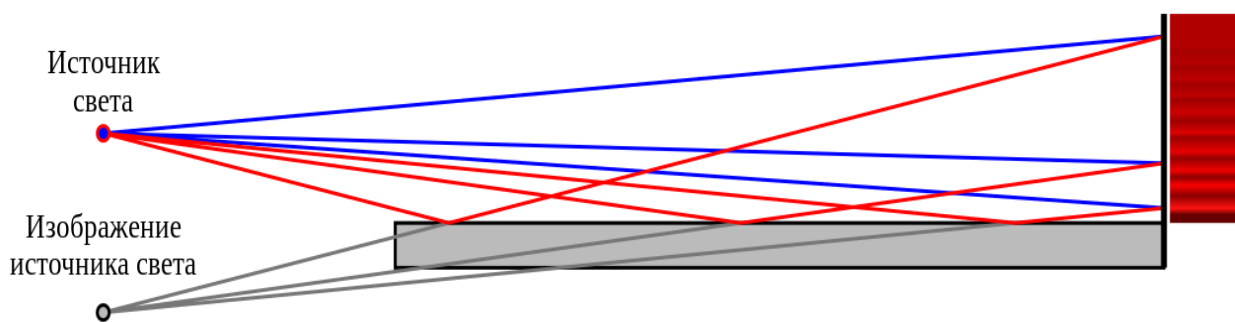


Рис. 2 – Схема эксперимента

Рассмотрим эксперимент, проведённый с помощью лабораторной установки. На оптическую скамью измерительного комплекса «Оптика» устанавливается источник монохроматического излучения – лазер, работающий на длине волны зелёного света (510 – 550 нм); рассеивающая линза, набор исследуемых образцов различной шероховатости. Лазерный луч, проходящий вблизи поверхности исследуемого образца, частично скользит вдоль поверхности и частично направляется на проекционный экран, на котором можно наблюдать интерференционную картину. Часть светового потока, огибая малые препятствия (неровности на поверхности) в результате дифракции меняет направление распространения. Складываясь с частью потока, распространяющегося к экрану, происходит перераспределение интенсивности света в пространстве, которая воспринимается как система чередующихся светлых и тёмных полос (максимумы и минимумы, соответственно). Для вычисления ширины интерференционной полосы удобно воспользоваться формулой, полученной из опыта Юнга. В качестве расстояния между источниками света можно взять среднюю высоту неровностей поверхности. Измерив ширину интерференционной полосы на экране, легко получить зависимость средней высоты шероховатостей от ширины интерференционных полос, в зависимости от исследуемого образца.

Фотография установки приведена на рисунке 3.

Средняя высота шероховатостей $h_{cp} = \frac{\lambda \cdot l}{\Delta x}$ полученная в эксперименте приведена на рисунке 4.

Из полученной зависимости можно сделать вывод о том, что при постоянной рабочей длине волны и неизменном расстоянии от образца до экрана, можно графически определить среднюю высоту шероховатостей, измерив только ширину интерференционной полосы на экране.



Рис. 3 – Лабораторная установка

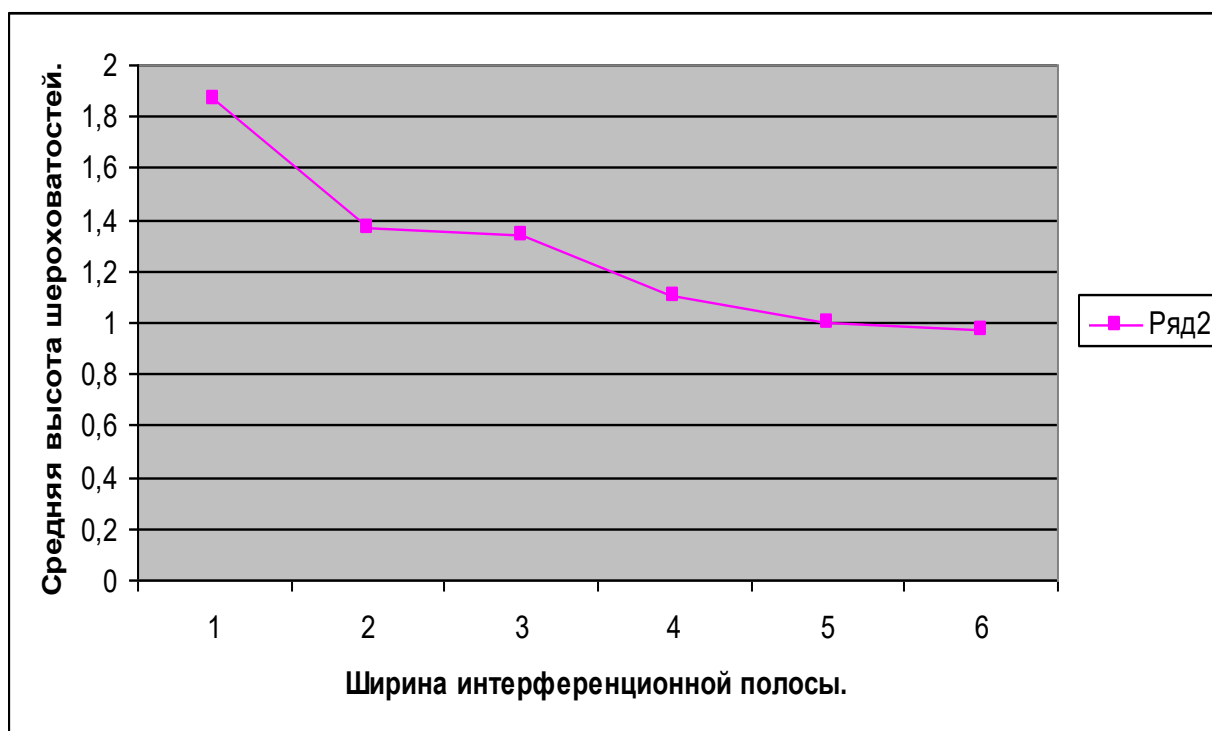


Рис. 4 – Экспериментальный график

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б. М. Яворский, А.А. Пинский, Основы физики, т. 2, Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2003г.
2. Б. М. Яворский, А.А. Детлаф, Справочник по физике для инженеров и студентов вузов, издательство «Наука», Москва, 1964 г.

ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Поздняков Е.П., Степанкин И.Н.

*УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого», Беларусь, г.Гомель
246746, Беларусь, г. Гомель, пр. Октября, 48*

***Аннотация.** Представлены результаты исследований влияния длительности цементации на структуру и свойства диффузионных слоев среднеуглеродистых низколегированных конструкционных сталей 35ХГСА, 40Х и 42CrMoS4. Установлено, что наибольшей износостойкостью обладают науглероженные слои стали 35ХГСА после 12-часовой и стали 40Х после 8-часовой химико-термической обработки, содержащие не более 15% карбидов размером до 10 мкм, 10...17% остаточного аустенита и 1,3...1,67% углерода.*

Ключевые слова: износостойчивость; контактная усталость; конструкционные стали; цементация; холодновысадочный инструмент.

WEAR RESISTANCE OF CEMENTED LAYERS OF MIDDLE-CARBON STRUCTURAL STEEL

Pozdnyakov E.P., Stepankin I.N.

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus, Gomel
246746, Republic of Belarus, Gomel, Oktyabrya ave., 48*

***Abstract.** The results of studies of the influence of cementation duration on the structure and properties of diffusion layers of medium-carbon low-alloy structural steels 35CrMnSi4, 40Cr4 and 42CrMoS4 are presented. It has been established that the carburized layers of steel 35CrMnSi4 after 12 hours and steel 40Cr4 after 8 hours of chemical-thermal treatment, containing no more than 15% carbides up to 10 microns in size, 10...17% retained austenite and 1,3...1,67% carbon, have the greatest wear resistance.*

Keywords: wear resistance; contact fatigue; structural steels; cementation; cold heading tool.

В штамповом производстве наибольшее распространение получили высоколегированные инструментальные стали X12M, X12MФ, X6BФ и др., содержащие крупные первичные карбиды [1]. В процессе пластической обработки эти карбиды разрушаются, что является причиной появления трещин. Для мелкозернистого

холодновысадочного инструмента, имеющего сложную геометрическую форму рабочей поверхности с мелкими элементами гравюры, данный вид дефекта является катастрофическим. Для устранения этого фактора можно применять среднеуглеродистые конструкционные стали 40X и 35XГСА после термодиффузионного упрочнения [2]. Они содержат в качестве карбидообразующего элемента хром. В настоящее время на Белорусском металлургическом заводе производится новая марка стали 42CrMoS4, содержащая сильный карбидообразующий элемент – молибден, – который может изменить структурно-фазовый состав и свойства сплава.

Упрочнение выбранных сталей осуществлялось путем проведения цементации в древесноугольном карбюризаторе с добавкой карбоната бария BaCO_3 при температуре 920°C с длительностью активного насыщения 8 и 12 часов. Окончательные свойства формировались после проведения закалки в масле с температуры 860°C и последующем низкотемпературным отпуском при 200°C в течение 1 часа. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое образцов при многократном контактом воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [3] при амплитуде контактных напряжений 1300 ± 65 МПа. Объемная доля и морфология карбидной фазы анализировалась в слое, толщиной 0,2 мм от поверхности образца.

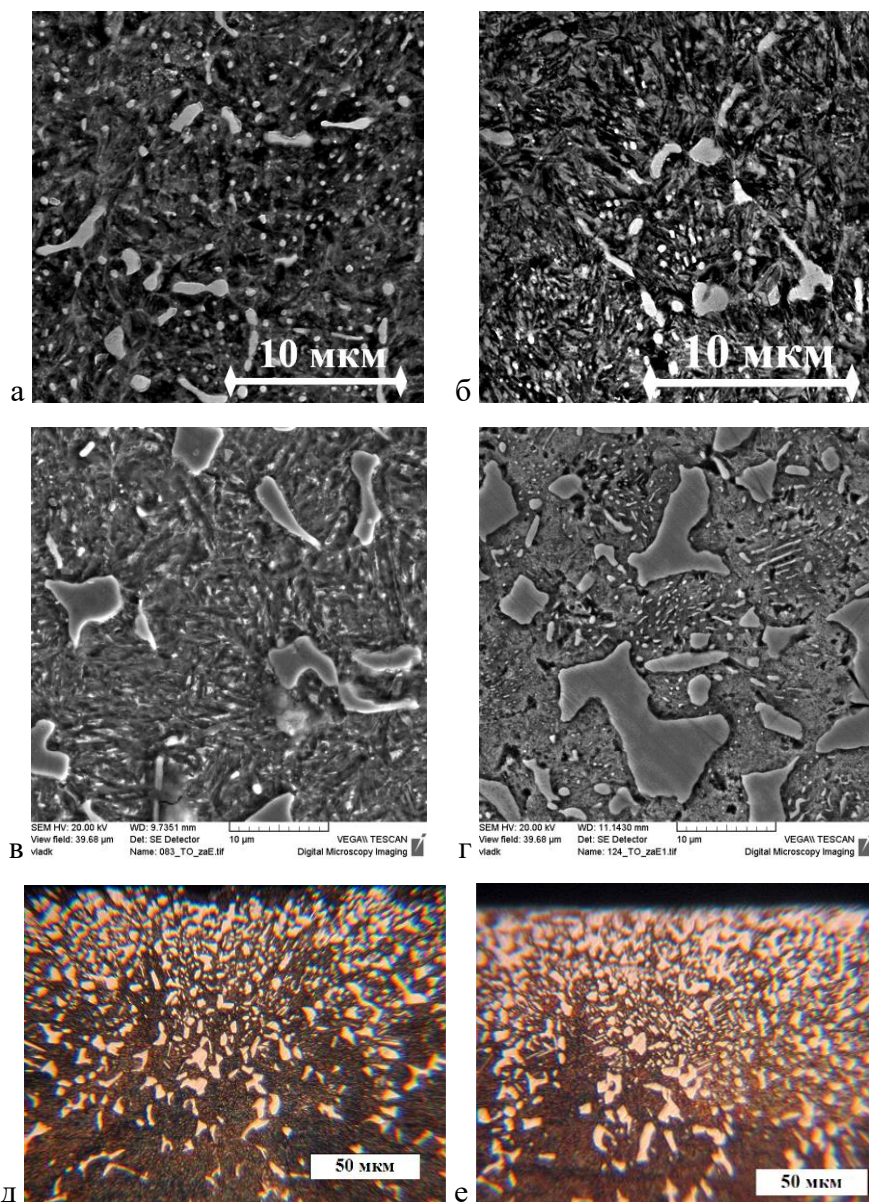
После всего цикла термодиффузионного упрочнения модифицированные слои состоят из мартенсита отпуска, остаточного аустенита и карбидной фазы (рис. 1). В структуре цементованных слоев стали 35XГСА объемная доля составила 10 % после 8-часового (рис. 1, а) и 15 % после 12-часового насыщения (рис. 1, б). Морфология включений представлена мелкодисперсными карбидами, равномерно распределенными по всей металлической основе, а также образующими прерывистую цементитную сетку вокруг бывшего зерна твердого раствора. Максимальный размер включений составил не более 2...3 мкм. Общая глубина зоны с избыточными включениями не превысила 0,2 мм для обоих случаев длительности насыщения.

В цементованных слоях стали 40X содержание и морфология карбидной фазы значительно отличается от слоев стали 35XГСА. Ее объемная доля возрастает с 15 % до 40% при увеличении длительности науглероживания с 8 (рис. 1, в) до 12 часов (рис. 1, г). При этом происходит коагуляция и увеличение максимального размера включений с 10 до 20 мкм. Общая толщина заэвтектоидного слоя также увеличивается с 0,5 до 0,7 мм.

Цементованные слои стали 42CrMoS4 в своей структуре имеют более развитую карбидную фазу, чем аналогичные слои сталей 40X и 35XГСА. При увеличении длительности диффузионного насыщения ее объемная доля увеличивается с 30 % до 40 %. Морфология включений после 8-часового насыщения представлена преимущественно разрозненными

включениями глобулярной формы. При увеличении времени цементации с 8 до 12 часов происходит их значительный рост с 10 мкм до 30 мкм. Общая толщина обоих слоёв, содержащих избыточные карбиды, составила 0,7 мм.

Дифрактограммы, полученные от всех исследованных поверхностных слоёв, показали отсутствие специальных карбидов. Вся карбидная фаза представлена цементитом.



а, в, д – 8-ми часовое насыщение; б, г, е – 12-ти часовое насыщение

Рис.1 – Микроструктура термоупрочненных цементованных слоев стали:

а, б – 35ХГСА; в, г – 40Х и д, е – 42CrMoS4

Наибольшим значением микротвердости поверхностных слоёв обладает сталь 35ХГСА. Этот факт свидетельствует о том, что кремний является одним из легирующих элементов, значительно повышающим твердость α -твердого раствора [4]. При увеличении

длительности цементации с 8 до 12 часов микротвердость поверхности стали 35ХГСА незначительно снижается с 9100 до 9200 МПа, а твердость сердцевины остается на уровне 6000...6200МПа (рис. 2, а). При этом увеличение длительности диффузионного насыщения также не приводит к существенному изменению зависимостей распределения микротвердости. Общая толщина слоев составила порядка 2,0...2,2 мм.

При формировании науглероженных слоев на стали 40Х (рис. 2, б) оказалось, что микротвердость поверхности значительно снижается по отношению к аналогичным слоям, образованным на стали 35ХГСА. При 8-часовом насыщении этот показатель составил 7900МПа, а в случае повышения длительности насыщения до 12 часов – 8200МПа. На кривых распределения микротвердости наблюдается наличие более пологой площадки в подповерхностном слое. Эта зависимость возникла вследствие распространения карбидной фазы на большую глубину. Толщина науглероженных слоев при увеличении длительности насыщения с 8 до 12 часов составила 1,8...2,0 мм и 2,0...2,2 мм соответственно. Твердость сердцевины в обоих случаях равна 5500...6000 МПа.

Ближкие зависимости распределения микротвердости по сечению слоев стали 40Х имеют слои стали 42CrMoS4 (рис. 2, в). Микротвердость поверхности незначительно снизилась с 8500 МПа до 8300 МПа при увеличении длительности цементации. Общая толщина слоев в обоих случаях составила 1,9...2,0 мм. Микротвердость сердцевины зафиксирована на уровне 6100 МПа.

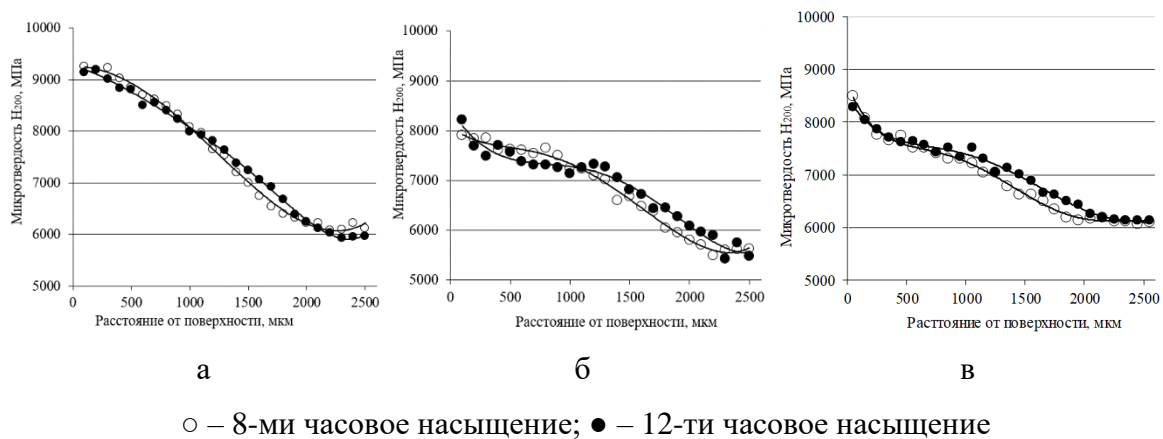


Рис. 2 – Распределение микротвердости по сечению термоупрочненных науглероженных слоев стали: а – 35ХГСА; б – 40Х и в – 42CrMoS4

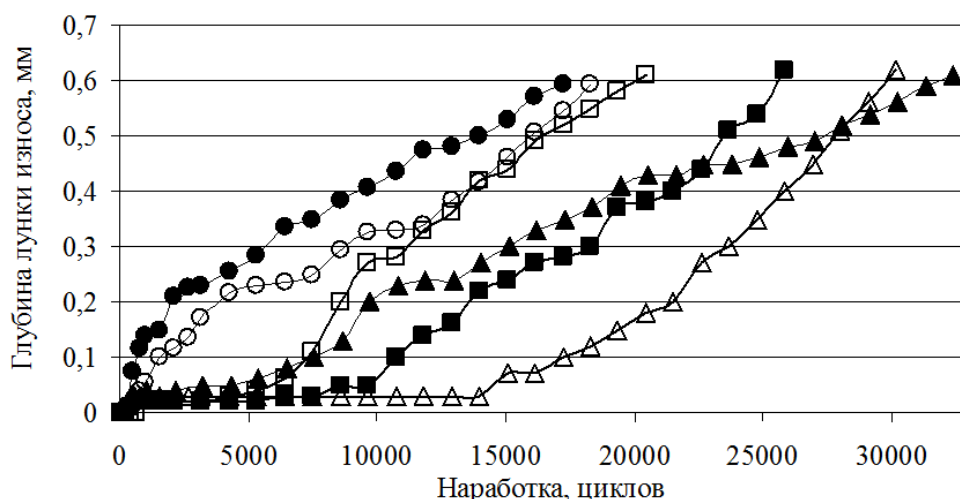
Анализ результатов фотоэлектрического спектрального анализа (табл. 1) показал, что цементованные слои стали 35ХГСА имеют меньшее количество углерода на поверхности, что объясняется повышенным содержанием в ней некарбидообразующего элемента – кремния [5]. С увеличением количества сильных карбидообразующих элементов (Cr, Mo) содержание

углерода значительно повышается. При этом стоит отметить, повышение содержания углерода увеличивает объемную долю остаточного аустенита.

Таблица 1 – Количество остаточного аустенита и углерода на поверхности науглероженных слоев конструкционных сталей 35ХГСА, 40Х и 42CrMoS4

Показатель	Марка стали					
	35ХГСА		40Х		42CrMoS4	
	Длительность цементации, часов					
	8	12	8	12	8	12
Количество углерода на поверхности	1,10	1,3	1,67	>1,80	>1,80	>1,80
Объемная доля остаточного аустенита, %	7,0	10,0	17,0	18,0	11,7	13,3

Испытания на контактную усталость при напряжениях 1300 ± 65 МПа показали, что у всех исследованных партий образцов присутствует этап приработки с контртелом, который длится порядка 1000...1500 циклов нагружения (рис. 3). У слоев стали 35ХГСА после 8-ми и 12-ти часовой ХТО и стали 40Х после 8-ми часовой после этапа приработки обнаружена высокая износостойчивость, которая составила 6,4 тыс., 10 тыс. и 14тыс. циклов нагружения соответственно. После этапа высокой износостойчивости интенсивность износа слоев резко возрастает. У данных слоёв величина стойкости, определённая при достижении лунки износа 0,6 мм, составила в интервале 20...30 тыс. циклов нагружения.



светлые маркеры – 8-часовая ХТО; тёмные маркеры – 12-часовая ХТО;

Рис. 3 – Кривые износа науглероженных слоев сталей 35ХГСА (■, □), 40Х (▲, △) и 42CrMoS4 (●, ○) при амплитуде контактных напряжений 1300 ± 65 МПа

Для остальных диффузионных слоёв этап высокой износостойкости отсутствует. У цементованного слоя стали 40Х, подвергнутого 12-ти часовой ХТО, зависимости износа

имеют характер близкий к равномерному. Максимальная стойкость данного слоя составила 32,5 тыс. циклов. Для цементованных слоёв стали 42CrMoS4 после этапа приработки наблюдается высокая скорость изнашивания, которая сохраняется при достижении лунки износа порядка 0,2 мм. После этого интенсивность изнашивания снижается, но указанные слои обладают минимальной стойкостью среди всех испытанных – 17,2 тыс. циклов нагружения после 12-часовой и 18,3 тыс. после 8-часовой цементации. Отсутствие этапа высокой износостойчивости данных слоев является следствием повышенного содержания углерода (более 1,8 %), высокой доли (более 30 %) крупных (более 10 мкм) карбидов.

Металлографическим исследованием установлено, что все исследованные слои сопровождаются питтинговым изнашиванием (рис. 4). Уже на начальном этапе при первых контактах с контртелом материал образцов претерпевает пластическую деформацию. При увеличении наработки в деформированных объёмах материала образуются зоны наклёпа, в которых зарождаются и распространяются трещины контактной усталости, приводящие, в конечном счёте, к выкрашиванию объёмов деформированного материала. Образование питтингов сопровождается перераспределением действующих напряжений на контактной поверхности образцов и ускорению интенсивности износа. Особенностью быстрого износа слоев стали 42CrMoS4 на начальном этапе испытаний является скалывание объёмов сплава на боковых частях образцов, имеющих развитое заэвтектоидное строение (рис. 4 г), провоцирующего уменьшение площади контакта и повышение действующих напряжений.

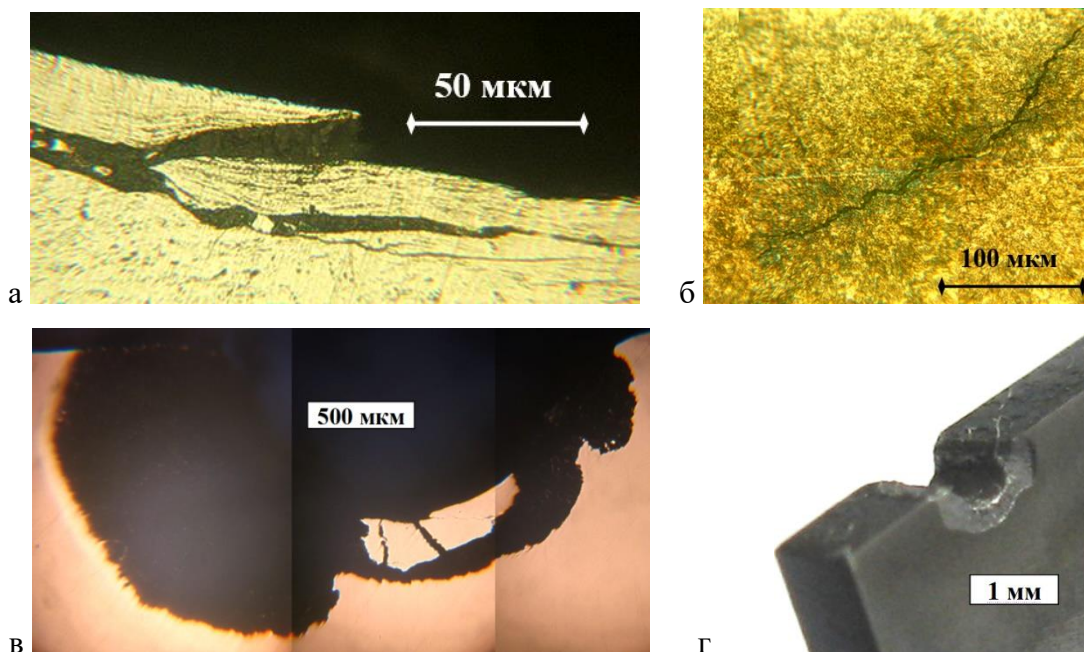


Рис. 4 – Особенности разрушения цементованных слоев сталей 35ХГСА и 40Х (а-в) и скалывание заэвтектоидной зоны слоев стали 42CrMoS4 (г)

Заключение. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. В цементованных слоях сталей 40X и 42CrMoS4, содержащих большее количество сильных карбидообразующих элементов, чем в стали 35ХГСА, формируется слой с более развитой карбидной фазой. В стали 35ХГСА повышенное содержание кремния снижает количество углерода и объемную долю карбидной фазы в поверхностном слое;

2. Наибольшая микротвердость поверхности зафиксирована у науглероженных слоев стали 35ХГСА, содержащей кремний как легирующий элемент;

3. У термоупрочненных слоев стали 35ХГСА после 12-часовой и стали 40X после 8-часовой цементации при напряжениях 1300 ± 65 МПа появляется этап высокой износостойкости, который составил 10 тыс. и 14 тыс. циклов нагружения соответственно. Эти слои содержат не более 15% карбидов размером до 10 мкм, 10...17% остаточного аустенита и углерода на уровне 1,3...1,67%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали: справочник / Ю.А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.

2. К вопросу влияния остаточного аустенита на износостойкость науглероженных слоев стали 40X и 35ХГСА / И.Н. Степанкин [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр. / редкол. : В.Г.Залесский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, – 2019. – С. 104-116.

3. Устройство для испытания материала на контактную усталость и износ: полез. модель ВУ 8260 / И.Н. Степанкин, И.А. Панкратов, В.М. Кенько, Е.П. Поздняков, Л.В. Степанкина. – Опубл. 30.06.2012.

4. Лахтин, Ю.М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.

5. Ворошнин, Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки : учебное пособие / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Сметкин. – М. : Новое знание; Минск : Новое знание, 2010. – 304 с. : ил

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ДСП-150 НА ПРЕДПРИЯТИИ АО «ОЭМК ИМ. А.А.УГАРОВА»

Реснянская А.С.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (Оскольский политехнический колледж),
Россия, Старый Оскол, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42*

***Аннотация.** В статье сделан акцент на оптимизации процесса выплавки стали в ДСП-150, приведены соответствующие решения.*

Ключевые слова: металлургия; выплавка стали; горелочные устройства; металлургическая отрасль; мониторинг; ДСП-150.

OPTIMIZATION OF THE STEEL SMELTING PROCESS IN CHIPBOARD-150 AT THE ENTERPRISE OF JSC «OEMK NAMED AFTER A.A. UGAROV»

Resnyanskaya A.S.

*Oskol Polytechnic College of the Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»
Russia, Stary Oskol*

***Abstract.** The article focuses on optimizing the steel smelting process in chipboard-150, and provides appropriate solutions.*

Keywords: metallurgy; steel smelting; burner devices; metallurgical industry; monitoring; chipboard-150.

Современная металлургия является ключевой отраслью, обеспечивающей мировую инфраструктуру с необходимыми строительными и технологическими материалами. В условиях постоянных изменений требований рынка и строгих экологических стандартов, повышение эффективности процессов выплавки стали становится неотъемлемым компонентом обеспечения конкурентоспособности предприятий.

Одним из ведущих предприятий в области энергетического машиностроения является АО «ОЭМК им. А.А. Угарова». В условиях динамичного развития промышленности и стремления к повышению производительности, вопросы оптимизации процессов выплавки стали на предприятии оказываются приоритетными.

Краткое описание АО «ОЭМК им. А.А.Угарова»: основные характеристики:

- Отрасль: Энергетическое машиностроение.
- Продукция: Производство энергетического оборудования, включая генераторы, турбины, оборудование для теплоэлектростанций и другие энергетические компоненты.
- История: ОЭМК им. А.А.Угарова имеет богатое наследие и опыт в разработке и производстве энергетических технологий.
- Инновации: Активное внедрение современных технологий и инженерных решений для повышения эффективности и конкурентоспособности продукции.
- Масштабы: Завод является крупнейшим предприятием в своей отрасли, обеспечивая энергетические решения как на внутреннем, так и на мировом рынке.

АО «ОЭМК им. А.А.Угарова» занимается не только производством, но и исследованиями в области энергетики, что подчеркивает его роль как ключевого участника в развитии современных технологий в сфере энергетики.

Обзор технологии выплавки стали на предприятии АО "ОЭМК им. А.А.Угарова" включает в себя следующие основные этапы и процессы:

1. Подготовка сырья:

- На предприятии используется высококачественное сырье, такое как железная руда, уголь, лом и другие металлургические материалы.
- Сырье подвергается предварительной обработке, включая дробление и сортировку, для обеспечения необходимых характеристик и состава.

2. Выплавка стали:

- Наиболее распространенным методом выплавки стали на металлургических предприятиях является конвертерный метод (бессрочная плавка в ковшах). Этот процесс включает в себя обработку расплавленной массы с использованием кислорода для удаления примесей и окисления углерода.
- Другие методы, такие как электросталеплавильные печи, могут также применяться в зависимости от потребностей и производственных мощностей.

3. Легирование и коррекция состава:

- После получения желаемого состава стали, могут проводиться легирование и коррекция добавлением различных легирующих элементов (например, хром, никель) для достижения требуемых механических свойств.

4. Отливка и формование:

- Расплавленная сталь направляется в формы или литейные машины для отливки в различные формы и размеры, в соответствии с требованиями заказчиков.

5. Термическая обработка:

- Полученные заготовки могут подвергаться термической обработке, такой как

нормализация, отпуск и закалка, для улучшения механических свойств стали.

6. Контроль качества:

- Процессы контроля качества включают в себя непрерывный мониторинг параметров стали в процессе выплавки и последующей обработки, а также проведение металлографических и механических тестов.

7. Упаковка и доставка:

- Готовая сталь упаковывается и готовится к отправке заказчикам, либо направляется на следующие этапы производства, такие как дополнительная обработка или формование.

Основные характеристики ДСП-150:

1. Печной трансформатор. Предназначением печного трансформатора является преобразование высокого напряжения в низкое (с 110000 В до 100÷В) подача напряжения к электродам электропечи. Для охлаждения обмоток и магнитопроводов высокого и низкого напряжения они находятся в баке со специальным трансформаторным маслом. Трансформатор расположен в отдельном помещении возле электропечи.

2. Основание люльки и люлька ДСП. Назначение люльки - установка корпуса, подины печи и удержание их при наклоне во время выпуска и скачивания шлака. Люлька состоит из следующих частей: фундаментных балок с отверстиями для шипов, рамы с поперечинами и двумя сегментами с шипами для удержания и задания направления при наклоне, рабочей платформы, промежуточной площадки, защиты от теплового излучения, опорной консоли стопорного устройства, крепления цилиндров механизма наклона.

3. Корпус печи. Корпус ДСП-150 состоит из двух частей – нижней и верхней. Нижняя часть корпуса ДСП-150 (подина печи) – полусферической формы. Корпус печи крепится на восемь точек люльки и направлен двумя цапфами, что позволяет избежать термического воздействия из-за расширения корпуса на люльку.

4. Полупортал печи. Это основная несущая конструкция свода ДСП-150 и электрододержателей, которая позволяет производить подъем поворотной системы свода.

Технология производства стали.

На участке электропечей ЭСПЦ АО "ОЭМК им. А.А.Угарова" функционируют четыре дуговые сталеплавильные печи емкостью 150 тонн. Электроэнергия подается на графитированные электроды, создавая электрические дуги, выделяющие тепло. Во избежание комфортных условий труда для персонала, каждая печь оборудована шумопылезащитным кожухом.

Металлолом загружается в печь с использованием завалочной бадьи, доставляемой автобадьевозами. Металлизированные окатыши (МОК) подаются в печь непрерывно через свод с зависимостью от температуры расплава и энергопотребления.

При достижении температуры 1530÷1540 °С, активизируется дозатор МОК и извести. Для предотвращения накопления МОК, скорость их подачи регулируется в зависимости от температуры жидкой ванны, которую измеряют в ходе плавки. Кокс добавляется для компенсации стехиометрического соотношения.

Плавка в ДСП-150 характеризуется окислительным периодом, в котором происходят химические реакции дефосфорации, обезуглероживания и удаление газов. Плавка завершается при достижении заданных температуры и содержания углерода.

Эффективные технологии выплавки стали в ДСП на АО «ОЭМК им. А.А.Угарова» включают в себя современные методы, направленные на оптимизацию процесса, повышение производительности и снижение экологического воздействия. Ключевыми технологическими аспектами являются:

1. Электроды с улучшенной производительностью:

- Выбор электродов с повышенной тепло- и электропроводностью для эффективной передачи энергии в металл, сокращая электропотребление и повышая производительность.

2. Использование современных газокислородных горелок:

- Подбор современных газокислородных горелок, соответствующих стандартам эффективности и безопасности.

- Рассмотрение горелок с технологией наклонного движения для оптимального распределения энергии.

3. Применение технологии сверхзвуковой продувки:

- Разработка сверхзвуковой продувки с использованием струи кислорода высокой скорости для улучшения проникновения кислорода в металлическую ванну.

4. Автоматизированная система управления:

- Выбор и внедрение современного программного обеспечения для автоматизированной системы управления, адаптированного под потребности электросталеплавильного производства.

5. Технологии рециркуляции газов:

- Анализ состава отходящих газов и разработка системы сбора и очистки, включая фильтры и абсорберы.

6. Применение высокоэффективных теплоизоляционных материалов:

- Анализ тепловых потерь и выбор современных материалов для снижения теплопроводности.

7. Интеграция систем мониторинга и диагностики:

- Выбор современных систем мониторинга и интеграция датчиков для контроля ключевых параметров производственного процесса.

8. Оптимизация химического состава сплава:

- Анализ текущего химического состава сырья для выявления возможных улучшений.

Процесс оптимизации является долгосрочным стратегическим вложением в будущее предприятия. Реализация предложенных мер позволит не только улучшить производственные показатели, но и поддерживать высокие стандарты качества, соответствовать современным экологическим нормам, а также обеспечивать устойчивость в условиях изменчивости рынка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлургия – Википедия [Электронный ресурс]: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Металлургия>
2. Смирнов, В.И. «Технология электросталеплавильного производства» Металлургия, 2015.
3. Шевченко, А.П. «Современные тенденции в электрометаллургии» Наука и техника, 2018.
4. Иванов, Г.С. «Инновационные подходы к оптимизации производства стали» Металлургические технологии, 2020.
5. ГОСТ 12345-67890 «Стандарты в области электросталеплавильного производства» Госстандарт России, 2019.
6. Документация по оборудованию ДСП-150, предоставленная АО «ОЭМК им. А.А.Угарова».

**ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА С УЧЕТОМ
БАЛЛАСТИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ГОРЕНИЯ ПРОДУКТАМИ СГОРАНИЯ
ТОПЛИВА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЭКОНОМИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ**

Сазонов А.В., Здравова Е.Р.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
shiller82@mail.ru*

***Аннотация.** в статье рассмотрены результаты горения топлива при изменении концентрации кислорода в воздухе горения за счет балластирования продуктами сгорания, на основе соответствующих расчетов показано, что балластирование приводит к уменьшению расхода природного газа на примере тепловой работы нагревательной печи с шагающим подом.*

Ключевые слова: горение топлива; балластирование; состав продуктов сгорания; удельные объемы; экономия топлива; содержание кислорода; калориметрическая и действительная температура; оптимизация тепловой работы.

**EVALUATION OF THE RESULTS OF CALCULATING GORENJE GORENJE, TAKING
INTO ACCOUNT THE BALASTING OF THE COMBUSTION AIR BY FUEL
COMBUSTION PRODUCTS IN RELATION TO THE SAVING OF NATURAL GAS
DURING THE OPERATION OF A HEATING FURNACE WITH A STEPPING HEART**

Sazonov A.V., Zdarova E.R.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article considers the results of fuel combustion when the oxygen concentration in gorenje gorenje air changes due to ballasting by combustion products, based on appropriate calculations it is shown that ballasting leads to a decrease in natural gas consumption on the example of thermal operation of a heating furnace with a stepping hearth.*

Keywords: gorenje fuel; ballasting; composition of combustion products; specific volumes; fuel economy; oxygen content; calorimetric and actual temperature; optimization of thermal operation of the furnace with a walking hearth.

Для повышения эффективности работы нагревательных печей возможно использование, так как называемого, балластирования воздуха дымовыми газами (продуктами сгорания топлива) [1].

Балластирование воздуха является эффективным средством регулирования температуры внутри печи и состава продуктов горения.

Снижение концентрации кислорода в воздухе приводит к следующим положительным явлениям в рабочем пространстве [1]: замедляется процесс горения; уменьшается образование промежуточных продуктов разложения углеводородов (СО и Н₂); уменьшается сажевыделение; уменьшает образование оксидов азота; более равномерная теплоотдача от факела.

При подготовке к написанию данной статьи изначально выполнили расчет горения топлива следующего химического состава - метан: 94,74 %; этан: 2,30 %; пропан: 0,53 %; бутан: 0,33 %; пентан: 0,11 %; гексан: около 0,05 %; прочие примеси - азот: 0,1 %; кислород: 0,89 %; углекислый газ: 0,95 % используя стандартную методику [2].

Расчеты показали, что при коэффициенте расхода воздуха $n = 1,1$ значение, удельного объема воздуха на сжигание ($V_{вн}$) составило $10,605 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – при этом воздух содержал 21,0 % кислорода и 79,0 % азота (удельный объем кислорода составил - $2,227 \text{ м}^3/\text{м}^3$, удельный объем азота составил - $8,378 \text{ м}^3/\text{м}^3$). Был получен следующий состав дымовых газов: 8,90 % СО₂, 72,10 % N₂, 17,26 % Н₂О, 1,74 % О₂.

Также были рассчитаны:

- энтальпия продуктов сгорания (i_o , кДж/м³) с учетом подогрева воздуха горения до температуры 360 °С и полученного объема дымовых газов ($V_{п.с.} = 14,447 \text{ м}^3/\text{м}^3$);

- calorimetric temperature (t'_k , °С);

- действительная температура (t_d , °С) со значением пирометрического коэффициента $\eta_{пир} = 0,8$.

Расчет проводился применительно к нагревающей печи с шагающим подом. В данной печи нагрев заготовок перед прокаткой осуществляется до температуры 1200 °С. При такой температуре нагрева значение t_d должно быть выше конечной температуры нагреваемого металла на 250,0 – 350,0 °С с целью компенсации различных видов потерь [3].

Из анализа литературных источников выяснено [1], что максимальное балластирование при устойчивом горении возможно при содержании кислорода в смеси воздух плюс балласт около 14,5 %.

Изначально выбрали значение концентрации кислорода 15,0 %. Удельный объем дымовых газов, который необходимо добавить к воздуху до достижения концентрации кислорода 15,0 %:

$$10,605 \cdot (21,0 - 15,0) / (15,0 - 1,74) = 4,799 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

С учетом балластирования дополнительно получаем следующую массу отдельных компонентов:

- для O₂: $4,799 \cdot 1,740 \cdot 0,01 = 0,083 \text{ м}^3/\text{м}^3$,
- для N₂: $4,799 \cdot 72,100 \cdot 0,01 = 3,460 \text{ м}^3/\text{м}^3$,
- для CO₂: $4,799 \cdot 8,900 \cdot 0,01 = 0,427 \text{ м}^3/\text{м}^3$,
- для H₂O: $4,799 \cdot 17,260 \cdot 0,01 = 0,828 \text{ м}^3/\text{м}^3$

Удельные объемы отдельных компонентов в воздухе, балластированном дымовыми газами:

- для O₂: $0,083 + 2,227 = 2,311 \text{ м}^3/\text{м}^3$,
- для N₂: $3,460 + 8,378 = 11,838 \text{ м}^3/\text{м}^3$,
- для CO₂: $0,427 \text{ м}^3/\text{м}^3$,
- для H₂O: $0,828 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Получен следующий состав балластированного воздуха:

- для O₂: $2,311 / 15,404 \cdot 0,01 = 15,00 \%$,
- для N₂: $11,838 / 15,404 \cdot 0,01 = 76,85 \%$,
- для CO₂: $0,427 / 15,404 \cdot 0,01 = 2,77 \%$,
- для H₂O: $0,828 / 15,404 \cdot 0,01 = 5,38 \%$,

Далее сделали пересчет удельных объемов и концентрации компонентов в дымовом газе с определением суммарного объема дымовых газов ($V_{\text{п.с.}}$, $\text{м}^3/\text{м}^3$).

Полученное значение $t_{\text{д}} = 1387,5 \text{ }^\circ\text{C}$ не сможет обеспечить нагрев заготовок до $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Далее делали расчеты при изменении концентрации кислорода в воздухе от 15 до 18 %, которые свели в таблицу 1.

Таблица 1 – Материальный баланс при изменении концентрации кислорода за счет балластирования

Поступило, кг	Процент кислорода в воздухе				
	21,0	15,0	16,0	17,0	18,0
Компоненты природного газа	0,766	0,766	0,766	0,766	0,766
Воздух:	13,680	13,680	13,680	13,680	13,680
Балласт, состоящий из след. компонентов	0,0	5,948	4,609	3,446	2,426
углекислый газ	0,0	0,839	0,650	0,486	0,342
азот	0,0	4,325	3,351	2,505	1,763
вода (газообр.)	0,0	0,665	0,516	0,386	0,271
кислород	0,0	0,119	0,092	0,069	0,049
Итого:	14,447	20,241	18,899	17,736	16,716
Получено продуктов сгорания, кг	Процент кислорода в воздухе				
	21,0	15,0	16,0	17,0	18,0
углекислый газ	2,031	2,870	2,681	2,517	2,373
азот	10,471	14,796	13,822	12,977	12,235
вода (газообр.)	1,613	2,277	2,128	1,998	1,883
кислород	0,288	0,229	0,214	0,201	0,190
Итого:	14,403	20,172	18,846	17,692	16,681
Невязка	0,044	0,068	0,054	0,044	0,035

Таблица 2 – Расчетные данные состава балластированного воздуха и полученных продуктов сгорания

Концентрация компонентов в воздухе, %				Удельные объемы продуктов сгорания, м ³ /м ³				V _{п.с.} , м ³ /м ³	i _о , кДж/м ³	t _к , °С	t _д , °С
O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	V _{O₂}	V _{N₂}	V _{CO₂}	V _{H₂O}				
Обычный воздух											
21,00	78,00	-	-	0,202	8,377	1,034	2,006	11,619	3557,300	2137,000	1709,000
Балластированный воздух продуктами сгорания											
15,00	76,85	2,77	5,38	0,285	11,837	1,461	2,834	16,418	2817,713	1734,424	1387,539
16,00	77,21	2,31	4,48	0,267	11,058	1,365	2,648	15,337	2943,604	1803,527	1442,821
17,00	77,57	1,85	3,58	0,250	10,381	1,281	2,486	14,399	3068,332	1871,632	1497,305
18,00	77,93	1,39	2,69	0,236	9,788	1,208	2,344	13,576	3191,915	1938,850	1551,08

Далее выполнили расчет позонного теплового баланса нагревательной печи с шагающим подом с учетом снижения концентрации кислорода в воздухе горения с 21 до 18 % за счет балластирования дымовыми газами. Полученные данные свели в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчетные величины по изменению основных показателей работы нагревательной печи с шагающим подом

Технологический показатель	Обозн.	Базовая технология	С использованием балластирования	Изменение
Производительность печи, т/ч	P	120,0	120,0	-
Температура подогрева воздуха, °С	T	360,0	360,0	-
Удельный объем балласта, м ³ /м ³	V _{бал}	-	1,957	+ 1,957
Содержание кислорода в воздухе, %	% O ₂	21,0	18,0	- 3,0
Удельный объем дымовых газов, м ³ /м ³	V _{п.с.}	11,619	13,576	+ 1,957
Температура подмешиваемого балласта, °С	T _{бал}	-	700,0	+ 700,0

Технологический показатель	Обозн.	Базовая технология	С использованием балластирования	Изменение
Энтальпия продуктов сгорания, кДж/м ³	i _о	3557,3	3191,915	- 365,385
Действительная температура, °С	t _д	1709,0	1551,08	- 157,92
Расход топлива по зонам, м ³ /ч				
- томильная	V _т	582,679	565,200	- 17,479
- сварочная	V _{св}	3485,704	3480,422	- 5,282
- методическая	V _м	0,0	0,0	0,0
- общий	V	4068,383	4045,622	- 22,761

Вывод: в результате уменьшения концентрации кислорода в воздухе горения с 21 до 18 % при сохранении производительности печи 120 т/ч получено снижение расхода топлива на отопление печи на 22,761 м³/ч. В этой связи можно сказать, что балластирование является эффективным методом по уменьшению расхода природного практически в любом нагревательном агрегата, включая паровые и водогрейные котлы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов, В. И. Рациональное сжигание газообразного топлива в металлургических агрегатах / В.И. Маслов, А.А. Винтовкин, Г. Дружинин. - М. : Металлургия, 1987. - 112 с.
2. Расчеты металлургических печей: справочное издание: В 2 т. Т.1 / Под общ. ред. д.т.н. проф. В.И. Тимошпольского, д.т.н. проф. В.И. Губинского. - М.: Теплотехник, 2009. - 512 с.
3. Технологическая инструкция П.С. – 334 - 2008 - Нагрев заготовок перед прокаткой в СПЦ – 2

ОСОБЕННОСТИ БАЛЛАСТИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ГОРЕНИЯ ПРОДУКТАМИ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Сазонов А.В., Кочергин Н.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
shiller82@mail.ru*

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные особенности по возможности балластирования воздуха, подаваемого на горение топлива (природного газа) в нагревательных печах, продуктами его сгорания, определены основные преимущества данного способа для оптимизации тепловой работы и уменьшения расхода топлива.*

Ключевые слова: горение топлива; балластирование; экономия топлива; устойчивость горения; пределы горения; содержание кислорода; оптимизация тепловой работы.

FEATURES OF BALASTING OF GORENJE AIR BY PRODUCTS OF COMBUSTION OF FUEL

Sazonov A.V., Kochergin N.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article considers the main features of the possible ballasting of air supplied to the combustion of fuel (natural gas) in heating furnaces by its combustion products, identifies the main advantages of this method for optimizing thermal operation and reducing fuel consumption gorenje.*

Keywords: fuel combustion; ballasting; fuel economy; stability of combustion; limits of combustion; oxygen content; optimization of thermal operation.

Концепция «Энергетической стратегии России на период до тридцатого года» [1], одобренная правительством РФ, ставит новые задачи по улучшению энергетической и экологической эффективности российского топливно - энергетического комплекса (ТЭК) в целом. Эти требования сформулированы для нового и уже эксплуатируемого энергетического оборудования.

Экономия топлива в нагревательных печах перед прокаткой в сортопрокатных цехах может быть достигнута за счет [2]: подогрева воздуха горения или природного газа; предварительного нагрева материалов и изделий, которые подвергаются термическому воздействию; использования тепла отходящих газов для получения горячей воды и пара; использования балластирования воздуха продуктами сгорания и др.

Способ балластирования воздуха горения отходящими дымовыми газами рассматривается в данной статье.

В зависимости от назначения и режима тепловой работы нагревательных и термических печей такие технологические параметры как температуры нагрева, температуры газов в печи и, соответственно, калориметрические температуры горения газа существенно различаются.

Основные особенности горения газов определяются [3]:

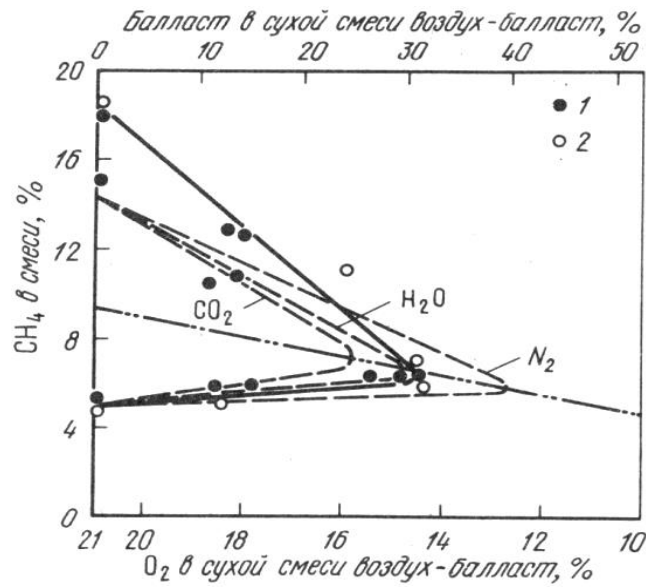
- физико-химическими характеристиками топлива;
- температурой горения;
- границами зажигания газо - воздушных смесей;
- нормальной скоростью распространения пламени и др.

Балластирование воздуха или газо - воздушной смеси охлажденными или нагретыми продуктами сгорания применяется в технике газосжигающего оборудования и является для отдельных технологических процессов эффективным средством регулирования температуры и состава продуктов горения в технологической зоне [4].

При сжигании природного газа с воздухом, забалластированным продуктам сгорания, существенно изменяются характеристики факела. Это влияние зависит от типа горелочного устройства, т.е. от организации процессов смешения.

Наиболее существенное влияние балластирование оказывает на устойчивость горения.

Максимальное балластирование при устойчивом горении возможно при применении стехиометрической смеси, в которой содержание кислорода в смеси воздух + балласт составляет около 14,5 % (рисунок 1).



----- - данные Б. Льюиса и Г. Эльбе; 1 – смесь горит; 2 – смесь не горит

Рис. 1 – Пределы горения смеси природный газ + воздух + балласт [4]

Дальнейшее балластирование возможно только за пределами зоны горения при отдельной самостоятельной подаче балласта. Из всех конструкций горелок наиболее глубокого балластирования при устойчивом горении можно достичь в циклонных горелках.

Скорость распространения пламени при балластировании определяется исключительно экспериментально [5] и зависит не только от содержания горючих и балластных газов, но и от температуры смеси, давления и др.

Экспериментальные данные различных авторов показывают [4-6] сильное взаимное влияние на скорость распространения пламени смесей содержания отдельных составляющих горючих и балластных газов.

Снижение концентрации кислорода в воздухе [6] замедляет процесс горения, уменьшает образование промежуточных продуктов разложения углеводородов (CO и H_2), снижает сажевыделение в факеле и уменьшает образование оксидов азота (рисунок 2).

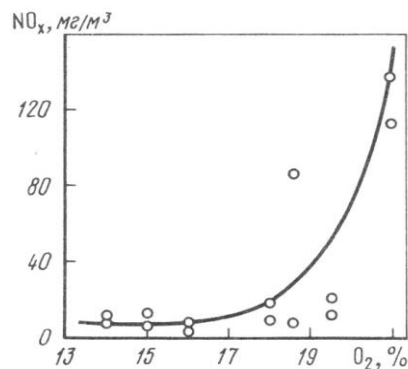


Рис. 2 – Содержание оксидов азота в продуктах сгорания вихревой горелки в зависимости от концентрации O_2 в смеси воздух + балласт (в соответствии с [4])

Более равномерной становится и теплоотдача от факела [7].

Исходя из представленной в статье информации можно сделать вывод - балластирование [4] является эффективным способом по выбору оптимального теплового и, соответственного, температурного режима при эксплуатации нагревательных агрегатов.

В дальнейшем необходимо разработать методику расчета равновесного состава и температуры продуктов сгорания, которая будет позволять по известному коэффициенту расхода воздуха в балластирующих газах и выбранному (заданному) первичному коэффициенту расхода воздуха определять необходимый расход балласта для обеспечения заданного уровня температуры и состава газов в технологической зоне агрегатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года - Режим доступа <http://www.minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 25.11.23)
2. Некоторые пути совершенствования технологии сжигания топлива в методических нагревательных печах / А.В. Арютюнов и др. // Известия ВУЗов. Черная металлургия. - 2012. - № 1. - С. 58-60.
3. Лисиенко, В. Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование : справочник в 3-книгах / В.Г. Лисиенко. - Текст: непосредственный. Кн.1 / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; Под ред. проф. д.т.н. В.Г.Лисиенко. - М.: Теплотехник, 2004. - 608 с.
4. Маслов, В. И. Рациональное сжигание газообразного топлива в металлургических агрегатах / В.И. Маслов, А.А. Винтовкин, Г. Дружинин. - М. : Металлургия, 1987. - 112 с.
5. Условия оптимизации процессов сжигания жидкого топлива и газа в энергетических и промышленных установках [Текст] / В.А. Павлов, И.Н. Штейнер. - Л. : Энергоатомиздат : Ленингр. отделение, 1984. - 120 с.
6. Бербенев, В. И. Сжигание газа в печах безокислительного и малоокислительного нагрева / В. И. Бербенев. - Л.: Недра, 1988. - 175 с.
7. Глинков, М. А. Общая теория тепловой работы печей: учебник для вузов / М. А. Глинков, Г. М. Глинков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1990. - 232 с.

**ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ ТВЕРДОГО
ОКИСЛИТЕЛЯ НА ТЕХНИЧЕСКИЙ ГАЗООБРАЗНЫЙ КИСЛОРОД
В ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАВКЕ СТАЛИ В ДСП - 14**

Сазонов А.В., Черменев Е.А., Короткова Л.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
shiller82@mail.ru*

***Аннотация.** В статье показано, что замена твердого окислителя на технический кислород не всегда является экономически целесообразной несмотря на уменьшение удельного расхода электроэнергии и уменьшения длительности окислительного периода.*

Ключевые слова: твердый окислитель (окисленные окатыши, окалина); технический кислород; снижение расхода электроэнергии; увеличение объема производства электростали; дополнительные расходы; увеличение расхода лома; увеличение себестоимости.

**ASSESSMENT OF THE ECONOMIC FEASIBILITY OF REPLACING A SOLID
OXIDIZER WITH TECHNICAL GASEOUS OXYGEN DURING THE OXIDIZING
PERIOD DURING ELECTRIC MELTING OF STEEL IN CHIPBOARD – 14**

Sazonov A.V., Chermenev E.A., Korotkova L.N.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article shows that the replacement of a solid oxidizer with technical oxygen is not always economically feasible despite a decrease in specific energy consumption and a decrease in the duration of the oxidation period.*

Keywords: solid oxidizer (oxidized pellets, scale); technical oxygen; reduction of electricity consumption; increase in electric steel production; additional costs; increase in scrap consumption; increase in cost.

В настоящее время при выплавке электростали на одном из предприятий, расположенного на территории г. Старый Оскол, в качестве окислителя для проведения окислительного периода плавки используются окисленные окатыши или окалина [1].

Окисленные окатыши покупаются у предприятий их производящих, окалина является технологическим отходом самого предприятия – образуется в достаточном количестве после термической обработки металлопродукции.

В работе [2] были представлены технологические преимущества и недостатки проведения окислительного периода за счет замены вида окислителя для ДСП – 14 (окисленных окатышей или окалина на технический кислород). Также в работе было указано [2], что применение технического кислорода возможно только при выплавке электростали с полным окислением примесей [3].

В данной статье выполнен расчет экономической эффективности замены – будет ли выгодно предприятию перейти при электроплавке с твердого окислителя на газообразный [4].

В настоящее время производительность цеха на рассматриваемом в статье предприятии составляет около 72000 т в год, причем большая часть стали выплавляется методом полного окисления примесей [1,3].

Для дальнейших расчетов приняли, что объем стали в размере 45000 т в год выплавляется методом полного окисления примесей в двух ДСП - 14.

Расчетами в работе [2] показано, что при применении кислорода в окислительный период уменьшает удельный расход электроэнергии в среднем на 99,6 кВт·ч/т.

Сокращение затрат на электроэнергию 1 т при ее стоимости для промышленного предприятия 4,89 руб. за 1,0 кВт·ч:

$$99,6 \cdot 4,89 = 487,044 \text{ руб./т}$$

Если в качестве твердого окислителя использовать окисленные окатыши, которые необходимо покупать у предприятий, которые их производят, то можно получить экономию при их закупке.

На основе данных [1] установлено, что на 1 т металла в среднем расходуется 20,0 кг окисленных окатышей.

Для дальнейших расчетов примем, что половина из общей массы металла (45000 т) выплавляется при подаче в окислительный период окисленных окатышей (22500 т), а остальная часть – с использованием окалина, которая образуется в ходе термической обработки.

Соответственно, на 22500 т стали необходимо следующая масса окисленных окатышей:

$$22500,0 \cdot 20,0 \cdot 0,001 = 450,0 \text{ т}$$

Стоимость 1 т окисленных окатышей около 8623,0 руб./т. Сокращение затрат на их покупку:

$$450,0 \cdot 8623,0 = 3880350,0 \text{ руб.}$$

В пересчете 1 т стали уменьшение стоимости составит:

$$3880350,0 / 45000,0 = 86,23 \text{ руб./т}$$

Однако, окалину, которая будет заменена, необходимо будет либо продавать, либо утилизировать: расчет произведем для варианта по продаже окалины на металлургические предприятия – общая масса окалины составит 450,0 т (аналогична массе окисленных окатышей).

Стоимость 1 т окалины при ее продаже примем 4532,0 руб./т – доход от ее продажи:

$$450,0 \cdot 4532,0 = 2039400,0 \text{ руб.}$$

Уменьшение затрат на 1 т стали:

$$2039400,0 / 45000,0 = 45,32 \text{ руб./т}$$

В работе [2] рассчитано, что минимальный удельный расход кислорода составляет около 4 м³/т.

Стоимость 1 м³ технического кислорода составляет в среднем 18,0 рублей за 1 м³.

Соответственно, на плавку массой 14 т расходуется 56,0 м³ технического кислорода, что в денежном эквиваленте составляет:

$$56,0 \cdot 18,0 = 1008,0 \text{ руб. на 14 т.}$$

Если вести расчет на 1 т металла, затраты на покупку 4 м³ технического кислорода составят:

$$4,0 \cdot 18,0 = 72,0 \text{ руб./т}$$

В процессе продувки металла кислородом будет происходить большее окисление части железа (3,85 % при использовании твердого окислителя и 6,35 % при использовании технического кислорода – увеличение в среднем на 2,5 % [2]), находящегося в расплаве.

В соответствии с производственными данными расход углеродистого лома составляет 1000,77 кг/т. Соответственно, при продувке кислородом норма расхода лома будет составлять 1025,8 кг/т. Также при электроплавке используется возврат собственного производства в количестве 130,01 кг/т. При продувке кислородом с учетом окисления части металлошихты расход составит 133,2 кг/т.

Разница в расходе составляет:

$$(1025,8 + 133,2) - (1000,77 + 130,01) = 28,22 \text{ кг/т.}$$

Стоимость 1 кг металлолома примем 19,64 руб./кг.

Дополнительные затраты за «угоревший» лом при продувке техническим кислородом в окислительный период:

$$28,22 \cdot 19,64 = 554,240 \text{ руб./т.}$$

В целях экономии средств предприятия продувку можно вести через футерованную огнеупорными катушками металлическую трубу диаметром 20,0 – 30,0 мм. Срок использования такой трубы в среднем составляет 7 плавов.

Количество плавков в год при общей производительности двух ДСП – 14 в 45000 т в год (средняя масса плавки 14,668 т):

$$45000,0 / 14,668 = 3068 \text{ плавков}$$

Общее количество труб для продувки:

$$3068 / 7 = 439,0 \text{ трубы}$$

Принимаем стоимость футерованной металлической трубы 1500,0 рублей.

Затраты на покупку 44 труб для продувки:

$$439,0 \cdot 1500,0 = 658500,0 \text{ руб./год}$$

Затраты в переводе на 1 т стали составят:

$$658500,0 / 45000,0 = 14,633 \text{ руб./т}$$

Можно уже проанализировать, выгодна ли замена окислителей – сложим экономию и дополнительные затраты:

$$(45,32 + 86,23 + 487,044) - (72,0 + 554,240 + 4,88) = - 22,280 \text{ руб./т}$$

Уже становится видно, что замена экономически невыгодна в связи в основном с увеличением расхода металлолома.

Это рассчитан наиболее благоприятный вариант по дополнительным затратам – продажа окалины другим предприятиям. Если ее необходимо будет утилизировать на специальных полигонах, то затраты будут только расти.

Следует также отметить, что использование в технологии технического кислорода требует больших капитальных вложений (трубопроводы, запорная аппаратуры, емкость для хранения кислорода и т.д.) [5]. Стоит это немало денег – по нашим оценкам порядка 20,0 млн. рублей. Хотя на заводе раньше эксплуатировалась кислородная станция – но в девяностые года она была выведена из эксплуатации за ненадобностью, а большая часть оборудования, включая подающие трубопроводы, были попросту порезаны на металлолом.

Говорить о сроке окупаемости нет никакого смысла, так как затраты при замене твердого окислителя на газообразный увеличились в среднем на 22,280 руб./т (в основном за счет увеличения количества лома на 1 т стали: увеличился угар железа).

Расчетные экономические показатели при использовании технического кислорода в окислительный период плавки в ДСП – 14 приведены в таблице.

Таблица 1 – Расчетные экономические показатели при использовании технического кислорода в окислительный период плавки в ДСП - 14

Показатель	Значение	Отклонение
Сокращение затрат на электроэнергию на 1 т, руб./т	487,044	- 487,044
Сокращение затрат за счет ненужности покупки окисленных окатышей, руб./т	86,23	- 86,23
Сокращение затрат за счет продажи окалины другим металлургическим предприятиям, руб./т	45,32	- 45,32
Увеличение затрат по покупке технического кислорода, руб./т	72,0	+ 72,0
Увеличение затрат на металлолом за счет дополнительного угара, руб./т	554,240	+ 554,240
Увеличение затрат за счет использования футерованных продувочных трубок, руб./т	14,633	+ 14,633
Увеличение общих затрат на выплавку 1 т электростали, руб./т	22,280	+ 22,280

Вывод: замена экономически предприятию невыгодна, так как увеличиваются общие затраты в основном за счет увеличения расхода металлолома (на 133,2 кг/т).

Использование технического кислорода в окислительный период будет выгодно предприятию только в одном случае – при увеличении объема выплавляемой стали за счет продажи дополнительной массы электростали, однако это утверждение требует детальной проработки и дополнительных расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологическая инструкция 05764765.25010.007.2007 - Выплавка углеродистых и низколегированных марок сталей.
2. Садовская М. Ф., Сазонов А.В. Технологические преимущества и недостатки проведения окислительного периода плавки в ДСП – 14 при использовании технического кислорода. Сборник материалов XX Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов - Старый Оскол, 2023. С. 75-78.

3. Гудим, Ю. А. Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы: монография / Ю. А. Гудим, И. Ю. Зинуров, А. Д. Киселев. - Новосибирск: НГТУ, 2010. - 547 с.

4. Садовская М. Ф., Сазонов А.В. Термодинамические особенности окислительного периода при использовании твердых окислителей и технического кислорода. Сборник материалов XX Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов - Старый Оскол, 2023. С. 72-74.

5. Экономика и организация производства на предприятиях черной металлургии: учеб. пособие / С.А. Гладышев, И.В. Кузнецова, В.М. Ледовской. - Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2004. - 288 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ ПРОКАТКИ КРУПНОСОРТНОГО ПРОКАТА

Семененко З.В., Плохих Е.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (Оскольский политехнический колледж),
Россия, Старый Оскол, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42
ploix2010@mail.ru*

***Аннотация.** Вопросы изучения и разработки технологии производства крупносортового проката с использованием аппаратно-программных тренажеров.*

Ключевые слова: прокатка; тренажерный комплекс; технологический процесс; крупносортовый прокат.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR VIRTUAL ROLLING OF LARGE SECTIONS

Semenenko Z.V., Plokhikh E.V.

*Oskol Polytechnic College of the Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»
Russia, Stary Oskol*

***Abstract.** Issues of studying and developing technology for the production of large-section steel using hardware and software simulators.*

Keywords: rolling; training complex; technological process; large-section rolled products.

Прокатка — это технологический процесс получения заготовок в результате силового воздействия инструмента (прокатных валков) на обрабатываемый материал. Для визуализации действующего процесса производства проката студенты специальности Обработка металлов давлением применяют тренажерные комплексы «Прокатка в реверсивной клетки крупносортового стана».

Применение обучающих тренажеров давно стало неотъемлемой частью обучения студентов, расширила понимание получаемой профессии. Абитуриентам обучающая система дает возможность погрузиться в технологический процесс задолго до начала обучения. Назначение обучающей системы позволяет получить навыки прокатки металла в реверсивной клетки на основе виртуальной системы управления технологическим процессом.

Основные этапы процесса производства крупносортового проката:

1. Подача заготовки на передний рольганг. Подача осуществляется с предыдущего участка прокатки или с участка нагревательных печей.
2. Установка зазора между валками.
3. Выбор необходимого калибра и установка заготовки напротив калибра.
4. Включение приводов рольгангов и валков в направлении прокатки.
5. Контроль параметров прокатки и прохода заготовки через валки клетки.
6. После выброса заготовки из валков останавливают привода рольгангов и прокатных валков. При необходимости производят кантовку заготовки. На этом первый проход в реверсивной клетке завершается.
7. После первого прохода изменяют: зазор между валками; положение заготовки на рольганге (при необходимости); направление вращения прокатных валков и рольгангов.
8. Заготовка начинает движение в обратном направлении. После выброса заготовки из валков и остановки приводов валков и рольгангов завершается второй проход.

Паспорт прокатки									
Время прокатки	Марка стали	Диаметр валков, мм	Высота заготовки, мм	Ширина заготовки, мм					
0:01:40	Ст3 ГОСТ 380-2005	750	200	200					
Фактические параметры прокатки									
Параметр	Высота, мм	Ширина, мм	Допуск, мм	Температура, °С	Количество проходов	Производительность			
Цель	150,0	150,0	1,5	> 700	---	6			
Факт	150,0	149,7	---	1126	5	17			
* На фоне красным шрифтом отмечены значения, не попадающие в заданный предел.									
Свернуть -			История прокатки						
Время	Проход	Калибр	Зазор валков	Высота, мм	Ширина, мм	Усилие, кН	Момент, кН·м	Мощность, МВт	Температура, °С
0:00:11	1	4	120	165,0	211,9	838	93	0,58	1191
0:00:30	2	4	130	175,0	177,1	794	91	0,57	1177
0:00:45	3	4	90	135,0	193,8	974	116	0,73	1165
0:01:08	4	4	118	163,0	145,9	715	75	0,47	1146
0:01:31	5	3	15	150,0	149,7	492	31	0,20	1126
Замечания по технологии прокатки металла									
№	Нарушение							Время	Штраф
---	---							---	---
Итого нарушений								0	0
Опыт								100	100

Рис. 1 – Паспорт прокатки

Данная система обучения позволяет обучаемому:

- достичь лучшего эффекта от обучения и понимания принципов прокатки металла;
- выбирать начальные и целевые параметры заготовки;
- управлять оборудованием реверсивной клетки;
- контролировать свои действия при помощи анимации;
- следить за изменениями температуры металла и параметров прокатки.

Результаты работы отражаются в паспорте прокатки, документе, подтверждающем основные параметры оборудования и прокатываемого металла.

К положительным качествам использования этих программ можно отнести:

- тренажер удобен в использовании;
- понятный интерфейс;
- очень реалистичное и интуитивное управление;
- прост в обучении.

Система позволяет проанализировать успеваемость, динамику обучения, проверить знания и устранить пробелы в них. При работе на тренажерах создаются условия, приближенные к производственным, которые обеспечивают формирование профессиональных компетенций, необходимых для будущей деятельности на металлургических комбинатах нашего региона, где данная специальность является очень востребованной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулидов И.Н. Оборудование прокатных цехов: Учеб. пособие для студентов сред. спец. учеб. заведений. – М.: «Интернет Инжиниринг». 2004. –320 с.
2. Лабораторная работа для виртуальной прокатки в реверсивной клетки крупносортового стана. URL: <https://sike.ru/>

УТОЧНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ФОРМУЛ РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ НА ЛАБОРАТОРНОМ СТАНЕ

Скляр В.А., Ерофеев Д.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
konfor1@yandex.ru

***Аннотация.** Проанализированы существующие методики расчета уширения при сортовой прокатке. В ходе проведенных экспериментальных исследований были выявлены основные факторы, определяющие величину уширения, к числу которых относятся геометрические параметры очага деформации, условия трения, ширина полосы, натяжение, прокатываемый материал и получены соответствующие зависимости для расчета уширения в ходе прокатки на лабораторном стане.*

Ключевые слова: прокатка; сталь; уширение; теория; лабораторный прокатный стан.

CLARIFICATION OF THEORETICAL FORMULAS FOR CALCULATING WIDENING DURING ROLLING ON A LABORATORY MILL

Skliar V.A., Erofeev D.S.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The existing methods of calculating the widening during long-range rolling are analyzed. In the course of the conducted experimental studies, the main factors determining the magnitude of the widening were identified, which include the geometric parameters of the deformation site, friction conditions, band width, tension, rolled material and the corresponding dependences for calculating the widening during rolling on a laboratory mill were obtained.*

Keywords: rolling; steel; widening; theory; laboratory rolling mill.

Введение

Уширение имеет большое значение при прокатке металла, данный параметр является одним из определяющих при расчете режимов обжатий и калибровки валков [1]. Существует множество методик расчета уширения, которые учитывают разные факторы при прокатке

[2-4]. В связи с тем, что разные формулы дают разные значения абсолютного уширения, необходимо проведение экспериментальных исследований для выявления формулы, которая наиболее подходит для условий прокатки на лабораторном стане. Уширение будет зависеть от таких факторов как температура раската [5] и марки прокатываемого материала [6]. Это особенно важно с учетом того, что при прокатке на лабораторном стане применяется пластилин, который дает несколько другие показатели уширения чем свинец или горячая сталь.

Методика проведения исследования

Для того чтобы проанализировать, сравнить и выбрать методики, наиболее близко отражающие уширение на лабораторном стане, был проведен эксперимент на лабораторном прокатном стане 5Л.00.00.00 с использованием пластилиновых образцов. Для этого использовался пластилин «Гамма». Вначале брусок пластилина массой 1 кг замораживался до температуры $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем из него прокатывались образцы с размерами в соответствии с планом эксперимента (таблица 1). Всего было приготовлено 45 образцов для 15 опытов по три повтора. Вид образцов представлен на рис. 1.



Рис. 1 – Внешний вид образцов

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты сравнивали с теоретическим расчетом уширения по формулам С.И. Губкина, А.П. Чекмарева, Б.П. Бахтинова и А.И. Целикова. Сравнение полученных результатов, показали, что расчет по третьей формуле (Б.П. Бахтинова) дает меньше всего ошибки (в среднем 24,5 %), чем расчет по остальным формулам (рис. 2).

Таким образом для теоретического расчета параметров прокатки на лабораторном стане целесообразно использовать формулу Б.П. Бахтинова. Однако в некоторых случаях она

дает сильно большую ошибку, поэтому необходимо вывести свою формулу для определения уширения, или ввести поправочные коэффициенты в уже существующие.

Таблица 1 – План эксперимента

№ опыта	h_0 , мм	b_0 , мм	Δh , мм
	x_1	x_2	x_3
1	5	10	0,5
2	10	10	0,5
3	5	40	0,5
4	10	40	0,5
5	5	10	3,5
6	10	10	3,5
7	5	40	3,5
8	10	40	3,5
9	4,5	25	2
10	10,5	25	2
11	7,5	6,8	2
12	7,5	4,32	2
13	7,5	25	0,18
14	7,5	25	3,82
15	7,5	25	2

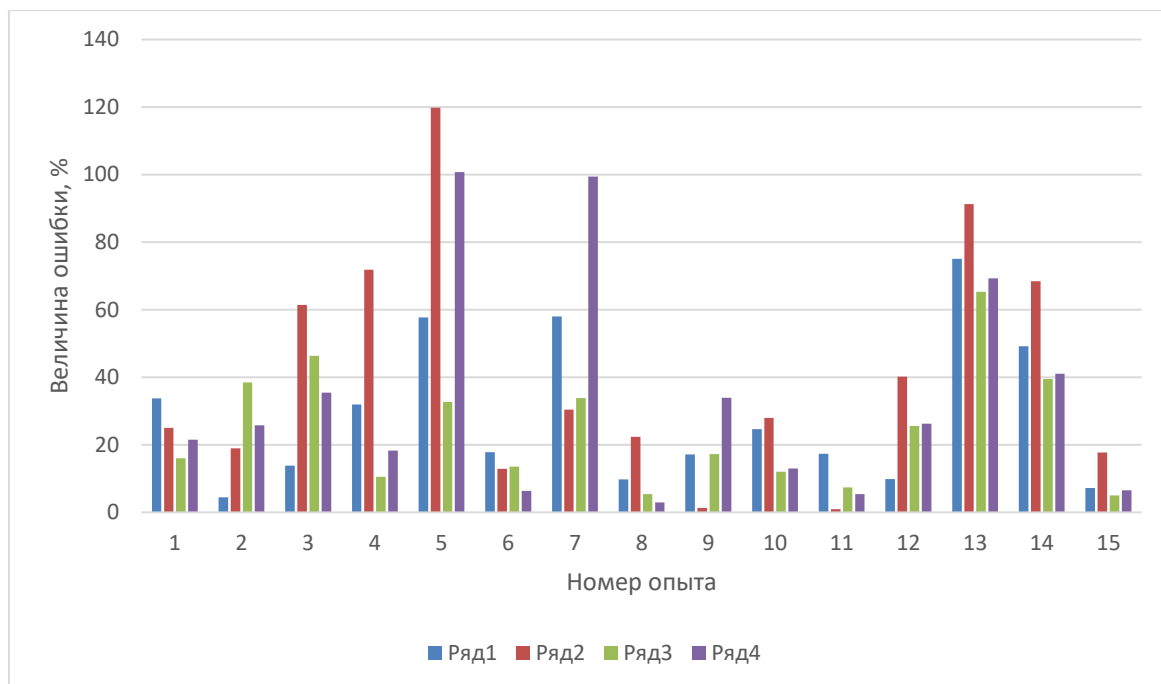


Рис. 2 – Гистограмма ошибок теоретического определения уширения

Рассмотрим теперь графические зависимости величины уширения от факторов эксперимента – начальной высоты и ширины и абсолютного обжатия. Зависимость абсолютного уширения от абсолютного обжатия для всех диапазонов начальной высоты и ширины представлена на рис. 3.

Из анализа можно сделать вывод что на данном графике присутствует сильная зависимость между абсолютным уширением и абсолютным обжатием. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,8736$.

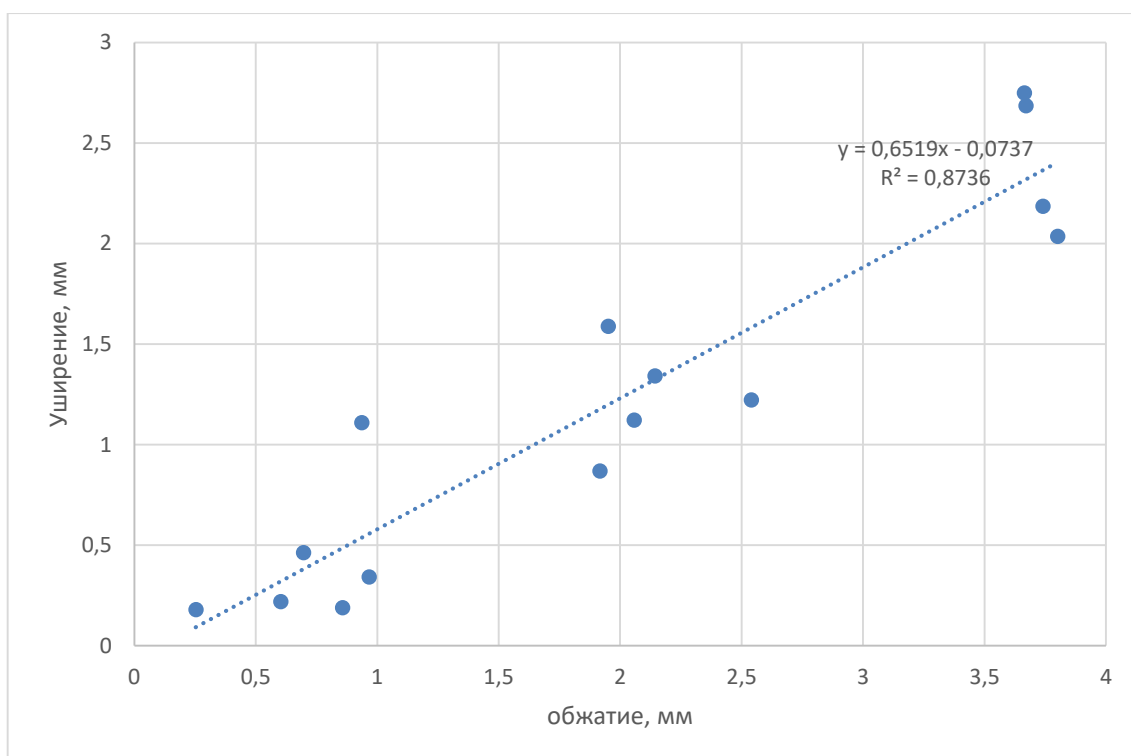


Рис. 3 – Зависимость абсолютного уширения от абсолютного обжатия для всех диапазонов начальной высоты и ширины

В итоге в результате обработки экспериментальных данных по методу регрессионного анализа была получена формула для определения уширения в ходе лабораторных работ на лабораторном стане кафедры ММ:

$$\Delta b_{\text{расч}} = 0,7856 - 0,10985 h_0 - 0,00433 b_0 + 0,688182 \Delta h \quad (1)$$

С использованием данного уравнения были рассчитаны значения уширения для экспериментальных данных. Максимальная ошибка определения уширения по данной формуле составляет 53,1 % при максимальной ширине образца и минимальной толщине. В данном случае на боковой грани образца образовывались разрывы, которые препятствовали получению точных данных. Таким образом не рекомендуется в лабораторных работах использовать образцы с такими размерами. Средняя ошибка же вычисления абсолютного уширения составляет 12,44 %, что в 1,97 раза меньше чем по формуле Б.П. Бахтинова. Таким образом целесообразно использовать формулу (1) полученную в результате эксперимента для вычисления уширения при проведении лабораторных работ на кафедре ММ им. С.П. Угаровой.

Вывод. Ошибка при определении величины уширения полученной по теоретическим формулам по сравнению с полученной экспериментально на стане составляет от 0,92 %, до

119,7 %. Исходя из полученных результатов ясно, что расчет по формуле Б.П. Бахтинова дает меньше всего ошибку вычисления (среднее значение - 24,5 %). В результате обработки экспериментальных данных по методу регрессионного анализа была получена формула для определения уширения в ходе лабораторных работ на лабораторном стане кафедры ММ, средняя ошибка вычисления абсолютного уширения составляет 12,44 %, что в 1,97 раза меньше чем по формуле Б.П. Бахтинова. По результатам исследования была модернизирована лабораторная работа по курсу «Теория процессов пластической деформации».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория прокатки: справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзини и др. – М.: «Металлургия», 2018. – 335с.
2. Чекмарев, А.П. Калибровка прокатных валков / А.П. Чекмарев, М.С. Мутьев, Р.А. Машковцев. – М: Metallurgiya, – 512 с.
3. Грудев, А.П. Теория прокатки: учебник для вузов / А.П. Грудев. – М.: Metallurgiya, 2016. – 240 с.
4. Зайков, М. А. Процесс прокатки / М. А. Зайков, В. П. Полухин, А. М. Зайков, Л. Н. Смирнов. – М.: МИСИС, 2004. – 640с.
5. Смирнов, Е. Н. Конструктивный аспект возможности организации прокатки качественных марок стали с петлей охлаждения и выравнивания температуры в условиях типового сортового непрерывного стана / Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции, Старый Оскол, 25–27 ноября 2015 года. Том I. – Старый Оскол: СТИ НИТУ "МИСИС", 2015. – С. 224.
6. Smyrnov, Y. Investigation of plastic properties of $\varnothing 8$ rod made of fire-refined copper of kmor grade / Y. Smyrnov, V. Skliar, A. Gorozhankin // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 989. – P. 665-670. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.989.665.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛЕЙ НА НАПРЯЖЕНИЕ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

Скляр В.А., Рудаков М.Е., Сайдаминов Д.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
konfor1@yandex.ru

***Аннотация.** Приведены результаты исследования влияния химического состава стали на напряжение течения металла при горячей прокатке и анализ энергозатрат на прокатку экспериментальных марок сталей. Показано, что стали, имеющие одинаковый предел текучести при комнатной температуре могут иметь разное напряжение течения при параметрах горячей прокатки. Не учет данного факта может приводить к перерасходу энергии на прокатку.*

Ключевые слова: прокатка; экспериментальные марки сталей; энергосиловые параметры; химический состав; напряжение течения металла.

ANALYSIS OF EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION STEELS ON THE YIELD STRESS OF METAL FLOW DURING HOT ROLLING

Skliar V.A., Rudakov M.E., Saidaminov D.I.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The results of the study of the influence of the chemical composition of steel on the yield stress of metal during hot rolling and the analysis of energy consumption for rolling experimental grades of steels are presented. It is shown that steels having the same yield strength at room temperature can have different yield stress at hot rolling parameters. Failure to take this fact into account can lead to overspending of energy for rolling.*

Keywords: rolling; experimental steel grades; energy-strength parameters; chemical composition; yield stress.

Прокатка является одним из наиболее распространенных методов обработки металлов давлением. Однако, при этом процессе возникают значительные усилия для осуществления

процесса пластической деформации, которые могут повлиять на расход энергии на процесс, а также на качество и свойства прокатываемого металла [1, 2].

Один из важных параметров, который влияет на энергосиловые условия прокатки, является напряжение течения металла. Напряжение течения - это максимальное значение напряжения, при котором материал начинает пластически деформироваться без разрушения. Оно зависит от многих факторов, таких как химический состав стали, температура прокатки, степень и скорость деформации и т.д.

При прокатке металла, напряжение течения играет важную роль в определении силы, необходимой для деформации материала. Если напряжение течения высокое, то для деформации металла потребуется большая сила, что может привести к повышенному энергопотреблению и износу оборудования.

Для оптимизации энергосиловых условий прокатки необходимо учитывать значение напряжения течения металла и подбирать соответствующие параметры прокатки, такие как степень обжатия, скорость прокатки, температура и сила прокатки. Например, при высоком значении напряжения течения металла можно использовать более высокую температуру, чтобы уменьшить силу, необходимую для деформации. С другой стороны, при низком значении напряжения течения металла можно использовать более низкую с температурой, чтобы сократить затраты энергии на нагрев металла.

Целью данной работы было исследование влияния химического состава стали на напряжение течения металла при горячей прокатке и анализ энергозатрат на прокатку экспериментальных марок сталей.

Методика проведения исследования

Предел течения стали в случае произвольной химической композиции определяли по методике Л.В. Андреюка, в соответствии с которой:

$$\sigma_s = \sigma_0 \cdot u^a \cdot (10 \varepsilon)^b \cdot (T/1000)^c \quad (1)$$

Параметр σ_0 (предела течения при стандартных условиях испытания) и коэффициенты уравнения определяются с помощью уравнений аппроксимаций в зависимости от химического состава стали [3, 4]. Формула (1) и методика Л.В. Андреюка имеют большое преимущество в использовании для различных марок сталей и сплавов, а главное – возможность расчета σ_s даже при отсутствии информации о конкретной марке стали в справочнике. Это достигается благодаря регрессионным уравнениям, которые позволяют определить параметры σ_0 , a , b и c для формулы на основе химического состава материала.

Параметр σ_0 (предела текучести при стандартных условиях испытания) и коэффициенты уравнения определяются с помощью следующих уравнений [5]:

$$\sigma_0 = 66,8 + 0,1[(k'_1 X_1 + k''_1 X_1^{1,5}) + \dots + (k'_{13} X_{13} + k''_{13} X_{13}^{1,5})] \quad (2)$$

$$a = 0,126 + 0,01[(l'_1 X_1 + l''_1 X_1^{1,5}) + \dots + (l'_{13} X_{13} + l''_{13} X_{13}^{1,5})] \quad (3)$$

$$b = 0,125 + 0,01[(m'_1 X_1 + m''_1 X_1^{1,5}) + \dots + (m'_{13} X_{13} + m''_{13} X_{13}^{1,5})] \quad (4)$$

$$c = -2,82 + 0,01[(n'_1 X_1 + n''_1 X_1^{1,5}) + \dots + (n'_{13} X_{13} + n''_{13} X_{13}^{1,5})] \quad (5)$$

где X_1, \dots, X_{13} – обозначения химических элементов; $k', k'', l', l'', m', m'', n', n''$ – коэффициенты, полученные на основе пластометрических исследований.

Изучалось напряжения течения 34 экспериментальных марок сталей с известным химическим составом и пределом текучести при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение

Исходя из известных значений предела текучести σ_T для экспериментальных марок стали, они были разбиты на несколько групп, где значения предела текучести σ_T были одинаковы или различались не более чем на 2,5 МПа. Соответственно можно было говорить, что пределы текучести у данных сталей одинаковы.

Рассмотрим возникающую разницу в рассчитанных значения напряжения течения для пар данных марок сталей при температурах и параметрах горячей пластической деформации. Для этого провели сравнительный расчет по формуле (1) для выбранных пар марок сталей для условий деформации $T = 1000-1200$ °С, $\varepsilon = 0,1-0,3$, $u = 1-20$ с⁻¹.

Рассмотрим для примера результаты расчетов для марок сталей с номерами плавки 242 и 243, которые представлены на рис. 1. Расчетные данные показывают, что разница составляет от 2,86 до 3,63 %, что попадает в допустимые 10 % погрешности для инженерных расчетов. Как видим, напряжение течения стали с номером плавки 243 больше чем напряжение течения стали с номером плавки 242. Снижение напряжения течения с повышением температуры одинаково по интенсивности для обеих плавок.

Аналогично и для всех остальных рассмотренных экспериментальных марок сталей, которые имели примерно одинаковый предел текучести при комнатной температуре, они имели также и примерно одинаковое напряжение течения при высокой температуре. Рассмотрим теперь марки стали с номерами плавки 250 и 231 для которых предел текучести

при комнатной температуре сильно отличается. Результаты расчетов для данных марок сталей представлены на рис. 2.

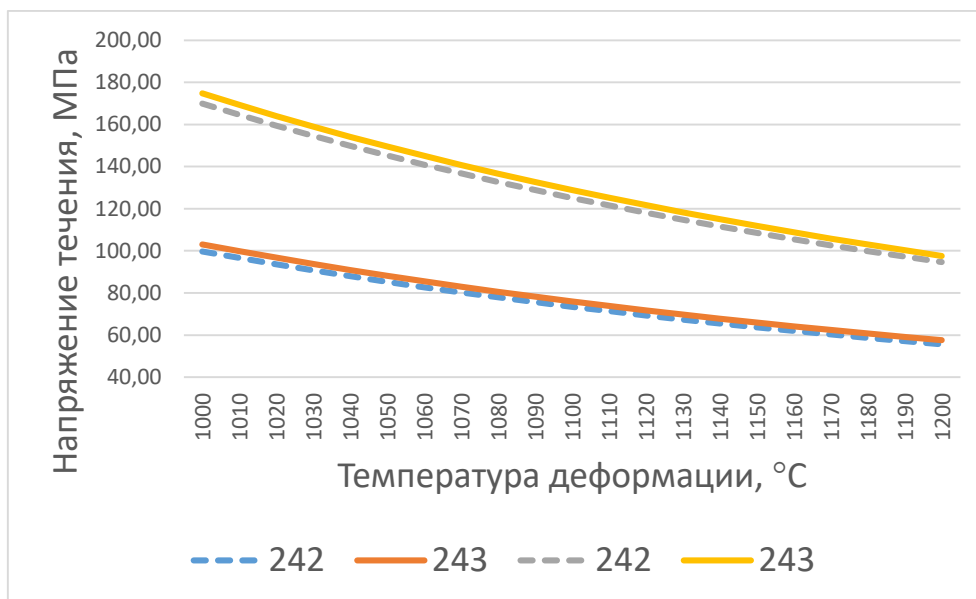


Рис. 1 – Результаты расчета напряжения течения для стали номеров плавки 242 и 243

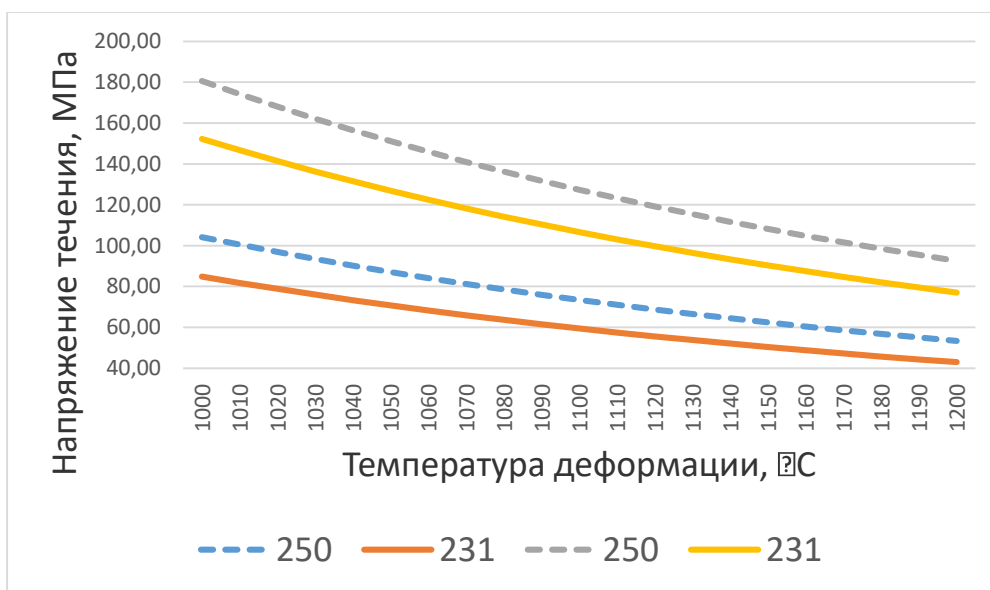


Рис. 2 – Результаты расчета напряжения течения для стали номеров плавки 250 и 231

Как видим, представленные результаты говорят о наличии достаточно больших различий между значениями напряжения течения, полученных при параметрах горячей деформации. В целом разница составляет от 15,74 до 19,52 %, что существенно больше допустимые 10 % для инженерных расчетов.

Таким образом марки сталей, имеющие предел текучести при комнатной температуре, отличающийся не более чем на 2,5 МПа показывают сходные характеристики напряжения

течения и при высокой температуре. А марки сталей, имеющие разный предел текучести при комнатной температуре показывают различные характеристики напряжения течения и при высокой температуре. Поэтому правомерным является использование метода Л.В. Андреюка и для экспериментальных марок сталей.

Выполним расчет энергосиловых параметров прокатки круглой стали диаметром 16 мм на стане 350 Акционерного общества «Оскольский электрометаллургический комбинат им. А.А. Угарова» (АО «ОЭМК им. А.А. Угарова») по типовой методике [15-17] для рассмотренных выше пар марок сталей.

Результаты расчета энергосиловых параметров при прокатке круглой стали диаметром 16 мм из стали с номером плавки 242 показывают что суммарный расход энергии на всем стане при прокатке данного профиля составит 116,029 кВт·ч/т, а при прокатке аналогичного профиля из стали с номером плавки 243 - 118,614 кВт·ч/т. Как видим разница между полученными значениями суммарного расхода энергии составляет 2,18 %.

С учетом данных и по остальным номерам плавки экспериментальных марок сталей разница в расчетах суммарной затраты энергии на прокатку круглого профиля диаметром 16 мм на стане 350 составляет от 0,87 до 2,18 %. Не смотря на небольшую величину разницы с точки зрения статистики данный момент надо учитывать, так как в общем расходе энергии на прокатку большой партии проката эта разница будет значительна.

Вывод. Таким образом показано, что стали, имеющие одинаковый предел текучести при комнатной температуре могут иметь разное напряжение течения при параметрах горячей прокатки. Не учет данного факта может приводить к перерасходу энергии на прокатку. В этом случае необходимо обращать внимание на химический состав марок сталей и выбирать из экспериментальных марок ту, которая приведет к меньшим энергозатратам на стане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колбасников, Н. Г. Теория обработки металлов давлением. Сопротивление деформации и пластичность / Н. Г. Колбасников. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 311 с.
2. Smyrnov, Y. Investigation of plastic properties of $\varnothing 8$ rod made of fire-refined copper of kmor grade / Y. Smyrnov, V. Skliar, A. Gorozhankin // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 989. – P. 665-670. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.989.665.
3. Сопротивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением: учеб. пособие / Ю. Г. Калпин, В. И. Перфилов, П. А. Петров [и др.]. М.: МГТУ, 2005. – 113 с.
4. Применение теории ползучести при обработке металлов давлением / А. А. Поздеев [и др.]. - М.: Metallurgia, 1973. - 192 с.

5. Румянцев, М. И. Опыт построения и применения моделей сопротивления деформации для автоматизированного проектирования режимов прокатки / М. И. Румянцев // Современные металлические материалы и технологии (СММТ 2013): труды международной научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та., 2013. – С. 408-410.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА ВАЛКОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА

Скляр В.А., Цынкин К.Д.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
konfor1@yandex.ru

Аннотация. С помощью математического моделирования с применением вычислительной техники были рассчитаны прогнозные величины износа валков по клетям стана 350 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» с применением технологии низкотемпературного нагрева металла под прокатку. Показано что износ отличается по клетям стана и в зависимости от марки стали, но наибольшее влияние имеет температура раската в клети. Результаты расчета экономических критериев показали, что не учет износа валков приводит к существенной ошибке при оценке экономического эффекта в 4 и более раза.

Ключевые слова: износ валков; низкотемпературная прокатка; энергосиловые параметры; экономическая эффективность; сортовой прокатный стан.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ROLL WEAR ON THE EFFECTIVENESS OF THE INTRODUCTION OF LOW-TEMPERATURE HEATING TECHNOLOGY

Skliar V.A., Tsynkin K.D.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

Abstract. Using mathematical modeling and computer technology, predicted values for roll wear on the mill 350 stands of JSC "OEMK named after A. A. Ugarov" have been calculated. It is shown that the wear differs in the mill crates and depending on the steel grade, but the temperature of the roll in the crate has the greatest influence. The results of calculating the economic criteria showed that not taking into account the wear of the rolls leads to a significant error in estimating the economic effect by 4 or more times.

Keywords: roll wear; low-temperature rolling; energy-strength parameters; economic efficiency; rolling mill.

Прокатные валки сортовых станов подвержены быстрому износу, который отрицательно влияет на точность размеров, качество продукции и технико-экономические показатели. Износ калибров валков происходит из-за отделения материала с поверхности в результате трения. В целом износ валков приводит к образованию сетки трещин на поверхности валка, окислению и последующему отрыву материала [1, 2].

Прогнозировать износ валков достаточно трудно, поэтому существует большое количество моделей износа валков, но все они имеют ограничения и недостатки.

Моделирование может производиться с помощью метода конечных элементов, конечных разниц или метода верхней оценки. Большую роль играют также статистические модели с использованием данных с реально производства [3, 4]. Особенно они становятся актуальны в условиях сегодняшнего бурного развития нейросетей [5, 6]. Моделирование износа валков имеет большое значение в случае внедрения технологии низкотемпературной прокатки, поскольку снижение температуры приводит к повышению прочностных характеристик прокатываемого металла и увеличению износа валков [7].

Таким образом, целью работы является изучение и совершенствование способа моделирования износа валков сортовых станов применительно к процессу низкотемпературного нагрева.

Методика проведения исследования

Для расчёта износа в работе использовалась модель Аркхарда, которую можно применять для тех способов обработки давлением, в которых преобладает абразивный износ [8]:

$$W = \int K \frac{p^a v^b}{H^c} dt,$$

где p – контактное напряжение;

v – скорость скольжения;

H – твёрдость материала инструмента;

t - продолжительность контакта;

a, b, c, K - коэффициенты; $a = 1$; $b = 1$; $c = 2$.

Формула учитывает влияние контактных напряжений, скорости скольжения металла об инструмент, твердости инструмента, продолжительности взаимодействия заготовки и инструмента [9]. Соответственно через расчет контактных напряжений учитывается и влияние температуры раската. Расчет контактных напряжений при прокатке производился по методике А.И. Целикова. Расчет износа велся из учета прокатки 500 тонн проката на один валок.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим влияние температуры прокатки на износ валков на примере прокатки круга диаметром 40 мм из стали 45 (рис. 1).

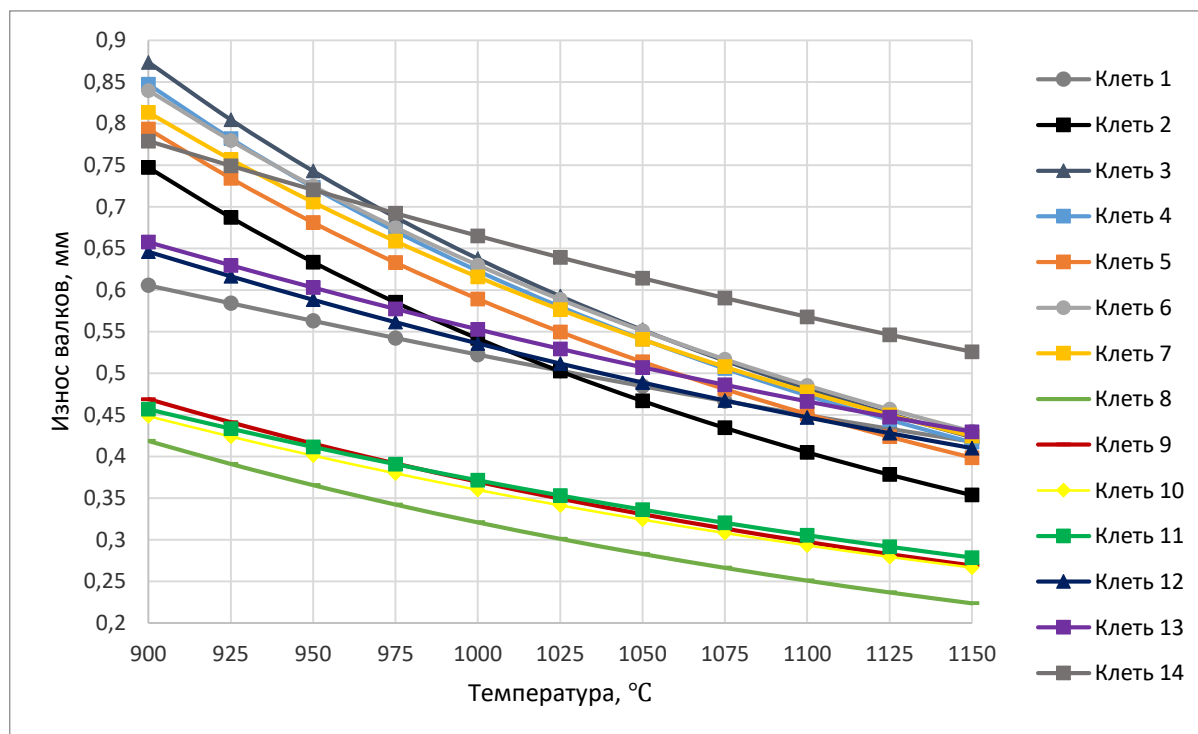


Рис. 1 – График зависимости износа валков от температуры прокатки стали 45

По данному графику мы видим, что максимальный износ наблюдается в 3 клетях при температуре 900 °C и равен 0,87, а минимальный 0,223 в 8 клетях при температуре 1150 °C. Выделяются 3 явных группы клетей с различными особенностями. В первой группе клетей: 8, 9, 10, 11 линии износа расположились в самом внизу и коэффициент износа плавно изменяется от 0,45 при 900 °C до 0,27 при 1150 °C. Следующая группа клетей: 13, 12, 1, 14 линии не сильно прилегают к друг другу но протекают в одном направлении, величина износа относительно температуры изменяется без сильных перепадов и колеблется в районе 0,65 при 900 °C и 0,4 при 1150 °C. Также стоит отметить клеть 14, ее линия протекает по такому же направлению, как и в остальных клетях в данной группе, но имеет другие значения износа 0,77 при 900 °C и 0,52 при 1150 °C. Довольно объемная группа клетей: 2, 5, 7, 6, 4, 3, в данной группе линии износа относительно температуры довольно сильно изменяются почти в два раза от 0,87 при 900 °C до 0,39 при 1150 °C, также в этой группе клетей выделяется клеть 2 которая имеет такое же направление линии износа относительно температуры, но с более низкими значениями износа 0,74 при 900 °C и 0,35 при 1150 °C.

Аналогичный расчеты производились и для других марок сталей. Полученные значения говорят, что величина износа распределяется неравномерно по клетям. Так

наименьший износ наблюдается в клетях 8, тогда как наибольший в клетях 14. Износ валков сильно зависит от температуры. Так, при снижении температуры прокатки определенных марок стали с 1150 до 900 °С износ может возрасти более чем в два раза. Данное обстоятельство приводит к необходимости более тщательного изучения процесса износа для определения его влияния на себестоимость проката в случае использования низкотемпературного нагрева под прокатку.

Результаты расчета экономических критериев показали, что не учет износа валков приводит к существенной ошибке при оценке экономического эффекта. Так снижение себестоимости проката за счет внедрения технологии низкотемпературного нагрева без учета износа валков составит 62,46 руб./т, а с учетом износа валков 17,88 руб./т.

Ожидаемый годовой экономический эффект за счет внедрения технологии низкотемпературного нагрева без учета износа валков составит 56 760 000 руб., а с учетом износа валков 12 180 000 руб. что меньше в 4,7 раза.

Вывод. С помощью математического моделирования с применением вычислительной техники были рассчитаны прогнозные величины износа валков по клетям стана 350 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» с применением технологии низкотемпературного нагрева металла под прокатку. Показано что износ отличается по клетям стана и в зависимости от марки стали, но наибольшее влияние имеет температура раската в клетях. Результаты расчета экономических критериев показали, что не учет износа валков приводит к существенной ошибке при оценке экономического эффекта в 4 и более раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобарикин Ю.Л., Радькин Я.И. Исследование влияния калибровки прокатных валков раскатного трубного стана на износ раскатной оправки // *Литьё и металлургия*. 2018. №4 (93). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-kalibrovki-prokatnyh-valkov-raskatnogo-trubnogo-stana-na-iznos-raskatnoy-opravki> (дата обращения: 15.02.2023).
2. Smyrnov, Y. Investigation of plastic properties of $\varnothing 8$ rod made of fire-refined copper of kmor grade / Y. Smyrnov, V. Skliar, A. Gorozhankin // *Materials Science Forum*. – 2020. – Vol. 989. – P. 665-670. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.989.665.
3. Логунова Оксана Сергеевна, Кухта Юлия Борисовна, Кожушков Евгений Юрьевич, Хакимуллин Константин Программное и математическое обеспечение для моделирования износа бочки прокатных валков // *ЭС и К*. 2017. №3 (36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmnoe-i-matematicheskoe-obespechenie-dlya-modelirovaniya-iznosa-bochki-prokatnyh-valkov> (дата обращения: 15.02.2023).

4. Дья Хенрик, Сыгут Мариола Теоретический анализ износа калибров в процессе прокатки круглых прутков // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2013. №3 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskiy-analiz-iznosa-kalibrov-v-protsesse-prokatki-kruglyh-prutkov> (дата обращения: 15.02.2023).

5. Салганик Виктор Матвеевич, Полецков Павел Петрович, Кухта Юлия Борисовна, Егорова Людмила Геннадьевна Управление качеством горячекатаного проката по профилю и плоскостности на базе использования автоматизированной системы // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2010. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-kachestvom-goryachekatanogo-prokata-po-profiluyu-i-ploskostnosti-na-baze-ispolzovaniya-avtomatizirovannoy-sistemy> (дата обращения: 15.02.2023).

6. Гасияров Вадим Рашитович Способ ограничения динамических нагрузок мехатронных систем клетки толстолистового прокатного стана // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-ogranicheniya-dinamicheskikh-nagruzok-mehatronnyh-sistem-kletki-tolstolistovogo-prokatnogo-stana> (дата обращения: 15.02.2023).

7. Смирнов, Е. Н. Конструктивный аспект возможности организации прокатки качественных марок стали с петель охлаждения и выравнивания температуры в условиях типового сортового непрерывного стана / Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции, Старый Оскол, 25–27 ноября 2015 года. Том I. – Старый Оскол: СТИ НИТУ "МИСИС", 2015. – С. 224.

8. Рычков, С. С. Моделирование влияния геометрии неравноосных калибров черновой группы клеток стана 370 ОАО "ММК" на износ валков / С. С. Рычков, Д. И. Кинзин, А. Б. Моллер // Моделирование и развитие процессов ОМД. – 2013. – № 19. – С. 16-24.

9. Рычков, С. С. Моделирование износа валков методом конечных элементов при прокатке в калибрах простой формы / С. С. Рычков, Д. И. Кинзин // Калибровочное бюро. – 2013. – № 1. – С. 29-42.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА
АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»**

Черменев Е.А., Кожухов А.А., Скляр В.А., Карамин А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
fenix-evg@yandex.ru*

***Аннотация.** Приведены результаты исследования динамики окисления железорудного концентрата АО «Лебединский ГОК» при различных температурах. Показано, что температура влияет не только на скорость процесса окисления, но и на степень его окисления. Не учет данного факта может приводить к незавершенности процесса окисления, что может повлиять на качество обожженных окатышей.*

Ключевые слова: окисление; железорудный концентрат; степень окисления.

**INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF OXIDATION OF IRON ORE
CONCENTRATE OF LEBEDINSKY GOK JSC**

Chermenev E.A., Kozhukhov A.A., Skliar V.A., Karamin A.V.

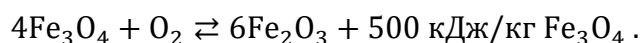
Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The results of a study of the dynamics of oxidation of iron ore concentrate of Lebedinsky GOK JSC at various temperatures are presented. It is shown that temperature affects not only the rate of the oxidation process, but also the degree of its oxidation. Failure to take this fact into account may lead to incomplete oxidation process, which may affect the quality of the fired pellets.*

Keywords: oxidation; iron ore concentrate; degree of oxidation.

При производстве окисленных железорудных окатышей одним из основных процессов является их обжиг.

Во время нагрева окатышей из магнетитовых руд основной химической реакцией является окисление магнетита, являющегося основным железосодержащим минералом в окатышах, до гематита. При этом процесс сопровождается интенсивным выделением тепла:



Если исходить из того что окисление магнетита начинается при нагреве до 500 °С, то в адиабатических условиях, за счет выделяющейся теплоты, без дополнительного тепла от внешнего источника, и учитывая среднюю теплоемкость смеси оксидов в заданном интервале температур, температура смеси оксидов поднимется на 472 °С [1].

Однако так как содержание магнетита в железорудных концентратах составляет менее 100 %, а реальный процесс сопровождается тепловыми потерями и затратой теплоты на эндотермические реакции (например, разложение карбонатов, гидратов и др.), то выделение теплоты будет меньше, но достаточным чтобы оказывать влияние на процесс обжига окатышей [2-4].

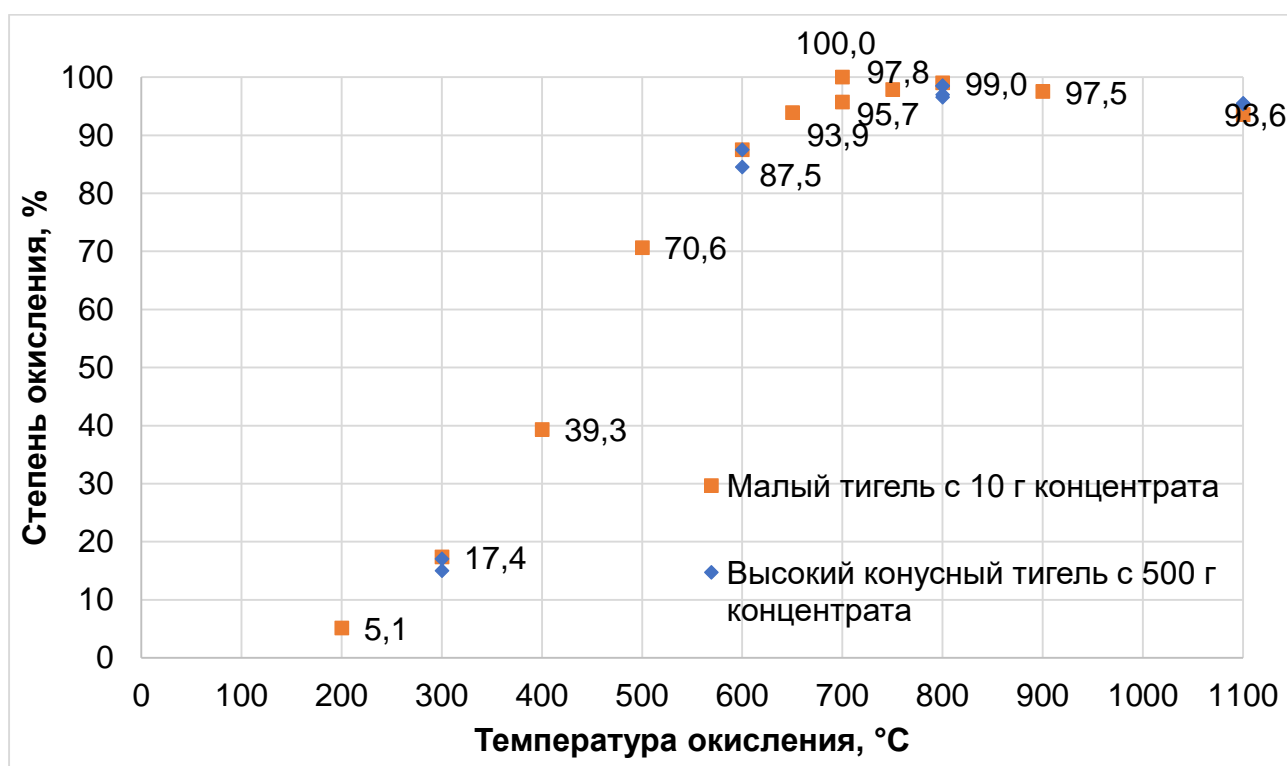
Таким образом, представляется актуальным исследовать кинетику процесса окисления железорудного концентрата.

Исследования по окислению железорудного концентрата АО «Лебединский ГОК» проводили на кафедре металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой в камерной электропечи сопротивления ТК.18.1300.Н.1Ф (Рисунок 1) без принудительной конвекции печной атмосферы. Объем рабочей камеры печи в 18 литров, а также подсос воздуха через неплотности и при открывании печи во время замеров обеспечивает избыточное количество кислорода для окисления малого количества концентрата.



Рис. 1 – Камерная электропечь сопротивления ТК.18.1300.Н.1Ф

На первом этапе провели исследование степени окисления концентрата от температуры. Методика заключалась в том, что железорудный концентрат в тигле помещался в предварительно нагретую печь с заданной температурой и выдерживался в ней в течение 8 часов, после чего производился замер массы. В опытах использовали малые тигли с тонким слоем ~10 г сухого концентрата для исключения влияния количества кислорода в печи и его диффузии в слое концентрата и большие конусные тигли с ~500 г сухого концентрата для определения этого влияния. Исследования проводили в диапазоне температур 200–600 °С с шагом 100 °С в диапазоне 600–800 °С с шагом 50 °С, а также при 900 и 1100 °С. Результаты приведены на рисунке 2.



*За 100 % взято максимально достигнутая степень окисления в опыте при 700 °С

Рис. 2 – Степень окисления концентрата от температуры

Максимальное увеличение массы концентрата из опыта при 700 °С составило +3,279 %, что достаточно близко к теоретическому значению для исследуемого концентрата с содержанием Fe_3O_4 в 96,3 %, которое составляет +3,32 %. Таким образом, для максимально полного окисления температура должна быть не менее 700 °С. Практически одинаковые результаты при окислении малых (~10 г) и больших (~500 г) проб говорит о том, что при большой длительности влияния количества кислорода в печи и его диффузии в слое концентрата на процесс окисления отсутствует, и были достигнуты равновесные степени

окисления. Снижение массы при температурах более 800 °С видимо, связано с процессами разложения карбонатов и выгоранием серы.

На втором этапе провели исследование кинетики окисления концентрата в зависимости от температуры. Методика заключалась в том, что малый тигель с тонким слоем железорудного концентрата (~10 г) помещался в предварительно нагретую печь с заданной температурой и периодически (шаг по времени 3 минуты) извлекался для взвешивания. Опыт завершался, когда в течение трех замеров изменения массы между двумя замерами становилось ниже 4 мг. Исследования проводили в диапазоне температур 600–1000 °С с шагом 100 °С. Результаты приведены на рисунке 3.

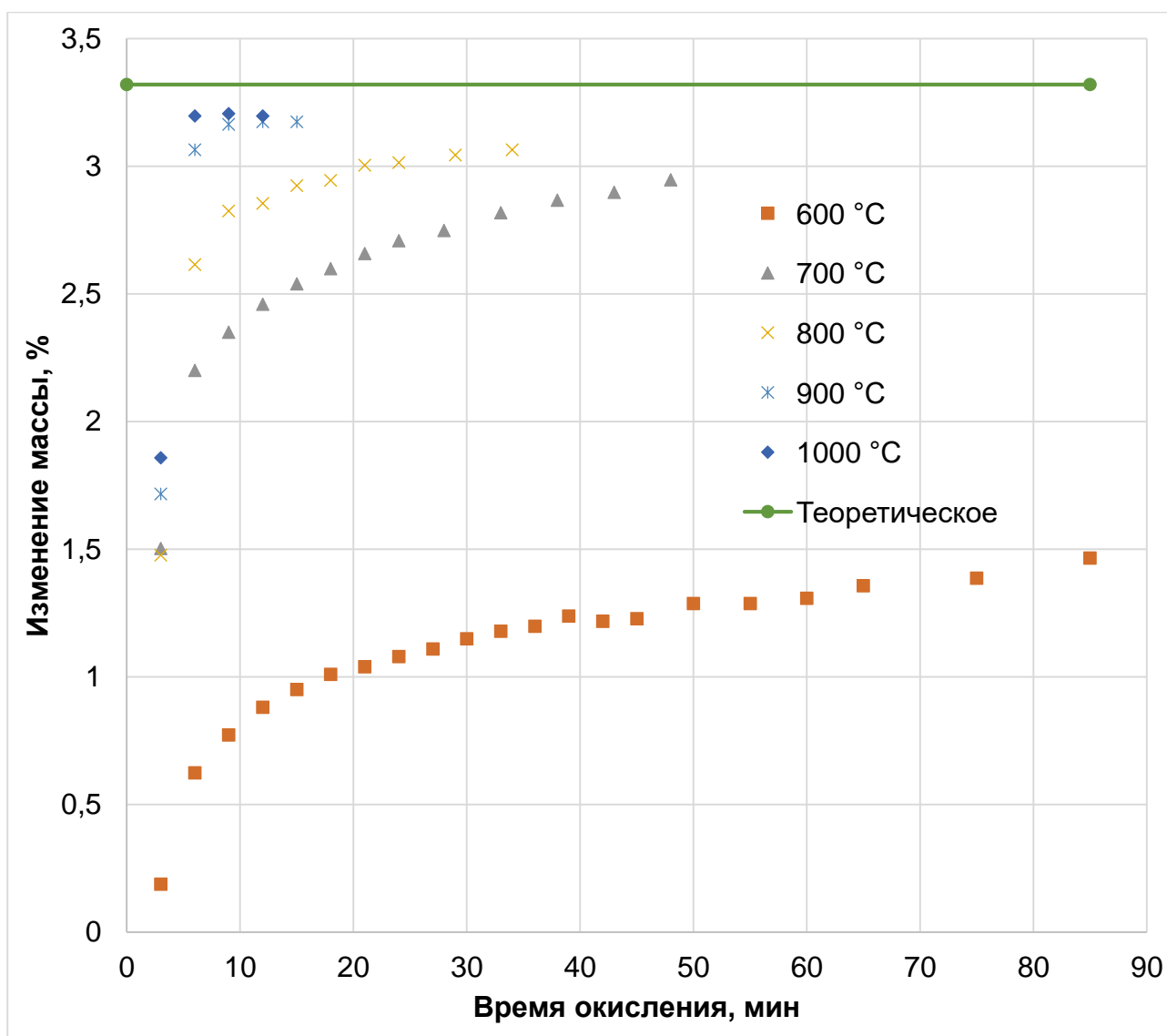


Рис. 3 – Результаты исследований кинетики окисления концентрата в зависимости от температуры

Скорость процесса окисления железорудного концентрата существенно зависит от температуры. Так при температуре 1000 °С изменение массы завершается за 6 минут, при 900 °С за 9 минут, то есть в 1,5 раза больше, а при 800 °С уже за 34 минуты (в 5,7 раз больше) (рисунок 3). Таким образом, с точки зрения производительности процесс окисления следует проводить при температурах не менее 900 °С.

Вывод. При окислении железорудного концентрата АО «Лебединский ГОК» в течение длительного времени достигается равновесная степень окисления, которая зависит от температуры. Для исследуемого концентрата максимально полное окисление достигается при температуре не менее 700 °С. Температура процесса существенно влияет на скорость окисления. При температуре 1000 °С оно завершается за 6 минут, при 900 °С за 9 минут, (в 1,5 раза больше), а при 800 °С уже за 34 минуты (в 5,7 раз больше).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы теории процессов при обжиге железорудных окатышей : научная монография / Б. П. Юрьев, Л. Б. Брук, Н. А. Спирин, О. Ю. Шешуков, В. А. Гольцев, О. И. Шевченко, А. А. Метелкин ; М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2018. – 310 с.
2. Юрьев, Б. П. Влияние окисления магнетита на структурные и прочностные характеристики железорудных окатышей при слоевом обжиге на конвейерной машине / Б. П. Юрьев, В. А. Дудко // Сталь. – 2020. – № 2. – С. 2-6. – EDN SJYXН.
3. Юрьев, Б. П. Результаты исследования процесса окисления железорудных окатышей / Б. П. Юрьев, Н. А. Спирин // Сталь. – 2011. – № 5. – С. 9-12. – EDN SGDPXJ.
4. Меламуд, С. Г. Исследование процесса окисления в железорудных материалах при умеренных и высоких температурах / С. Г. Меламуд, Б. П. Юрьев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2016. – Т. 59, № 6. – С. 378-384. – DOI 10.17073/0368-0797-2016-6-378-384. – EDN WAJUKN.

СЕКЦИЯ 2 «ГОРНОЕ ДЕЛО»

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ПРОИЗВЕДЕННОГО КОНЦЕНТРАТА В ЖИДКОЙ ФАЗЕ ПО ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»

Тараненко М.Е., Игнатов А.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), taranenko@yandex.ru, 8-920-597-85-98

***Аннотация.** Внедрение автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета продукции – актуальная задача для передела обогащения АО «Лебединский ГОК». В статье рассматривается вопрос разработки «Автоматизированной системы учета количества произведенного концентрата в жидкой фазе (пульпе) (автоматизированная система учета концентрата по жидкой фазе) по обогатительной фабрике АО «Лебединский ГОК»».*

Ключевые слова: обогатительная фабрика; система учета; контроль плотности; контроль расхода; контроль массового расхода концентрата по жидкой фазе.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR AMOUNT ACCOUNTING THE LIQUID PHASE CONCENTRATE PRODUCED AT THE LEBEDINSKY GOK PROCESSING PLANT

Taranenko M.E., Ignatov A.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, Belgorod region, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16, taranenko@yandex.ru, 8-920-597-85-98

***Abstract.** The introduction of automated information and measurement systems for commercial accounting of products is an urgent task for the processing plant of Lebedinsky GOK JSC. The article considers the issue of developing an "Automated system for accounting for the amount of concentrate produced in the liquid phase (pulp) (automated system for accounting for concentrate in the liquid phase) at the processing plant of JSC Lebedinsky GOK".*

Keywords: processing plant; accounting system; density control; flow control; control of the mass flow of concentrate in the liquid phase.

Технология обогатительной фабрики

Технологическая особенность обогатительного комплекса комбината - метод полного самоизмельчения железистых кварцитов, исключая из процесса рудоподготовки традиционные стадии среднего и мелкого дробления [1, 2]. В работе были рассмотрены технологические схемы первого, второго и третьего участка обогащения (Рис. 1-3).

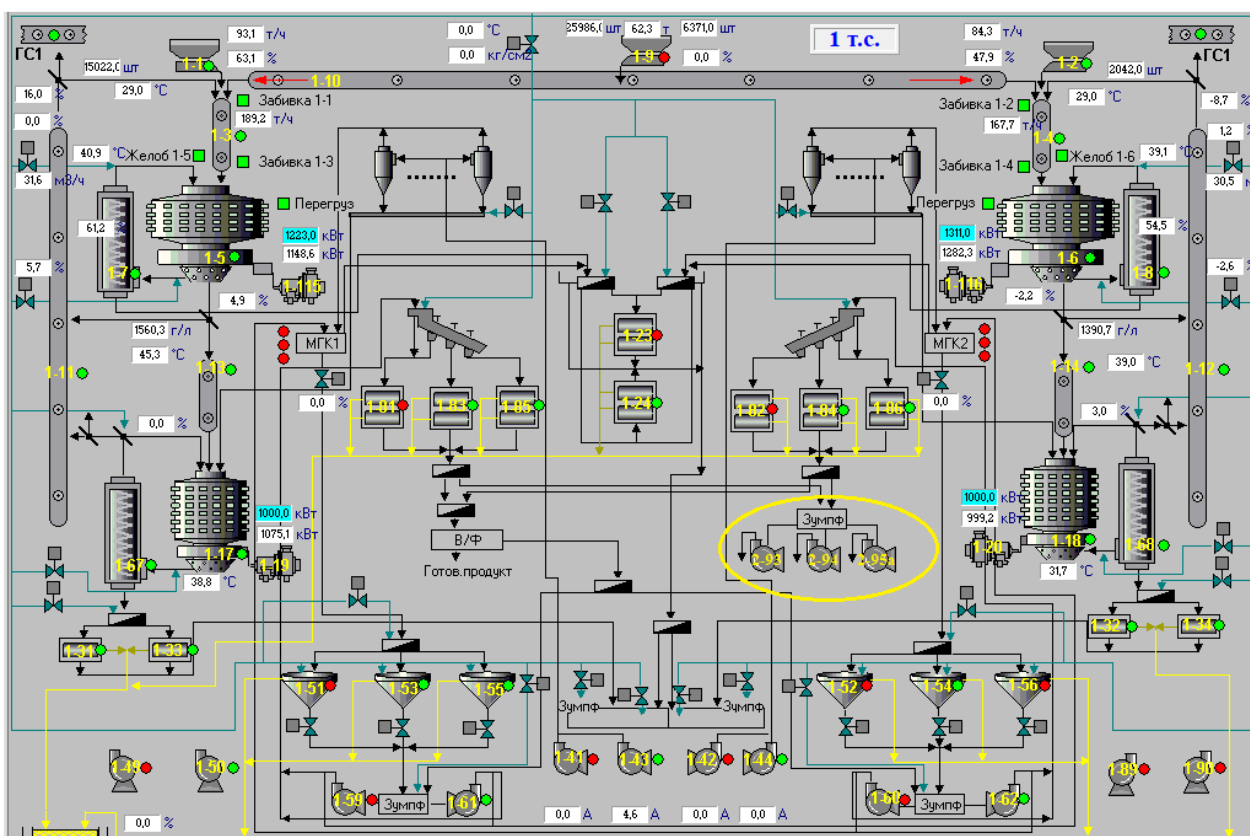


Рис. 1 – Технологическая схема участка обогащения №1

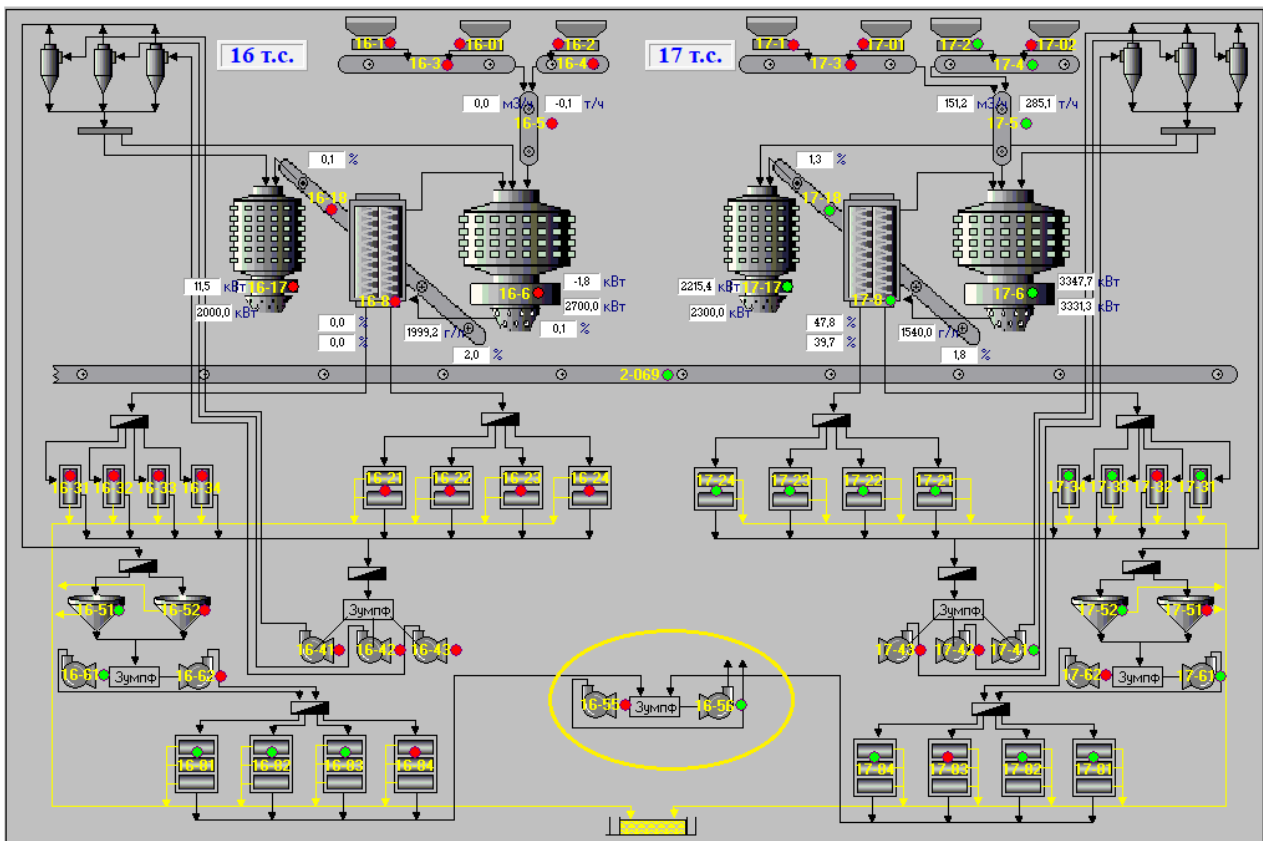


Рис. 2 – Технологическая схема участка обогащения №2

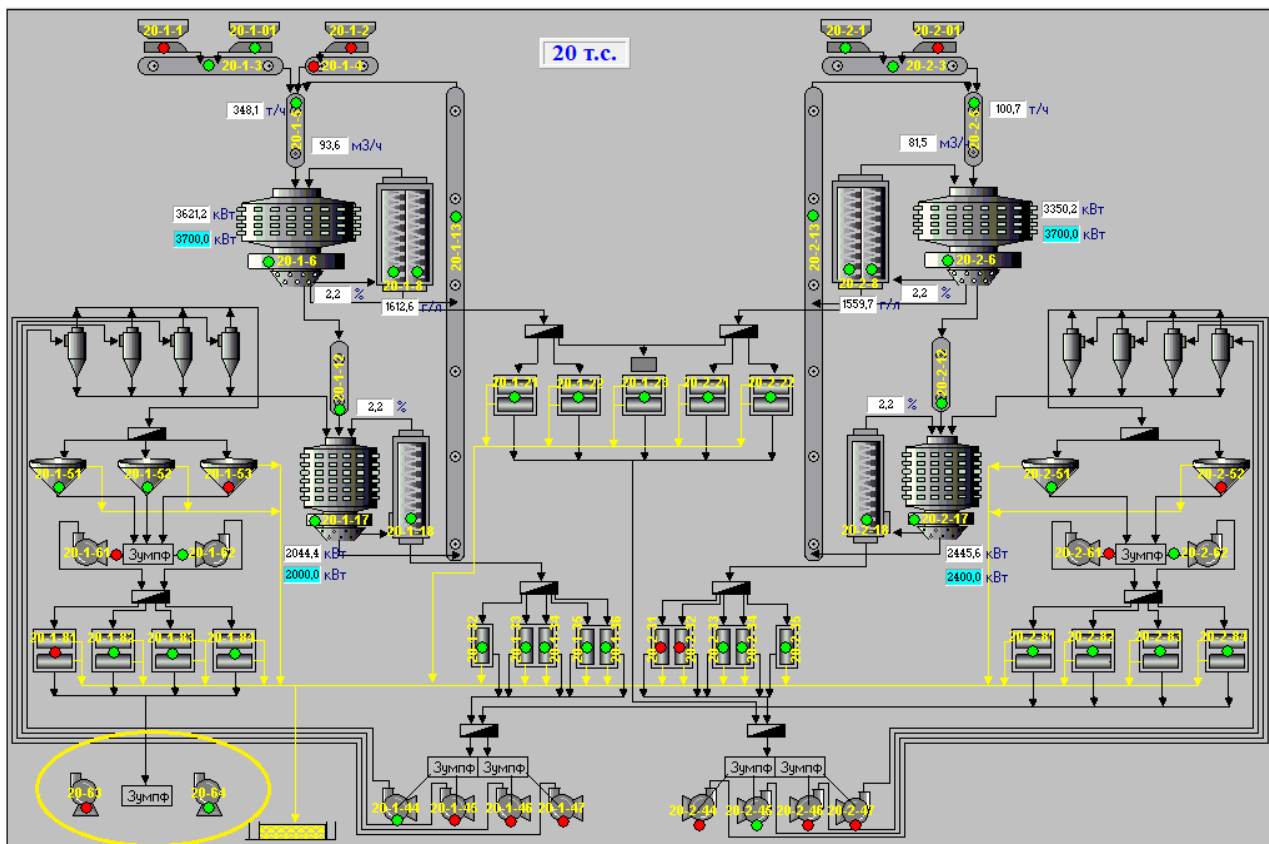


Рис. 3 – Технологическая схема участка обогащения №3

Основное оборудование технологических секций участков обогащения ОФ: рудные питатели, мельницы мокрого самоизмельчения ММС, рудно-галечные мельницы МРГ, спиральные классификаторы, гидроциклоны, дешламаторы, магнитные сепараторы, система конвейерного транспорта, парк насосного оборудования (зумпфы). На рисунках показаны зумпфы и насосы готового концентрата. Сейчас система учета количества готового концентрата по жидкой фазе отсутствует. На обогатительной фабрике существует и используется входной весовой по руде подающих конвейеров на ОФ и паллетный учет на питателях по входной руде по секциям ОФ (паллетный учет точнее), суммарный объем произведенного концентрата по участкам обогащения ОФ пересчитываются ориентировочно через расчетные коэффициенты.

Плотностные характеристики произведенного концентрата определяются технологическим персоналом вручную (ручной отбор проб), частота отбора проб - 2 раза в смену. Сухой вес произведенного концентрата можно измерить только на складе концентрата и отгрузке потребителю.

Недостатки существующей системы (методики) учета произведенного концентрата на обогатительной фабрике [1, 2]:

- Оперативный контроль (учет) и плотностные характеристики, произведенного концентрата по концентратным зумпфам рядового концентрата – отсутствует.
- Ориентировочные данные, по произведенному концентрату, рассчитанные от паллетных данных, не позволяют точно оценить количество произведенного концентрата.
- Сухой вес произведенного концентрата можно измерить только на складе концентрата и отгрузке потребителю.
- Оперативное управление качеством производимого концентрата по технологическим секциям ОФ – не представляется возможным.
- Плотностные характеристики произведенного концентрата определяются технологическим персоналом вручную (ручной отбор проб). Также следует отметить, что ручной отбор проб необходимо исключить и данный процесс автоматизировать.

Разработка автоматизированной системы коммерческого учета количества произведенного концентрата в жидкой фазе (пульпе) по обогатительной фабрике

Назначение системы: учет количества произведенного концентрата по УО-1, УО-2, УО-3 обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» в соответствии законом РФ «Об обеспечении единицы измерения».

Цели создания системы:

- оперативный контроль и коммерческий учет количества твердого (сухой вес) в произведенном концентрате УО-1, УО-2, УО-3 обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК». Установка локальных узлов учета на все концентратные насосы УО-1, УО-2, УО-3 обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК».

- соблюдение требуемого технологического режима непрерывного производства;
- исключение возможности ручного ввода информации
- повышение скорости и качества передаваемой информации.

Основные сведения об объекте автоматизации:

1. Автоматизированная система коммерческого учета количества произведенного концентрата в жидкой фазе (пульпе) по УО-1, УО-2, УО-3 ОФ АО «Лебединский ГОК» предназначена для эксплуатации на горно-обогатительном комбинате «Лебединский ГОК» г. Губкин Белгородской области.

2. Помещения производственной зоны объекта имеют категорию Д по взрывопожарной и пожарной опасности.

3. Основные характеристики трубопроводов и учитываемого материала:

- Количество точек учета перекачиваемого концентрата - 39 шт. (концентратные насосы по УО-1, УО-2, УО-3 ОФ АО «Лебединский ГОК»).

В состав разработанной системы учета будут входить:

- Приборы для измерения расхода пульпы (магнитно-индукционные расходомеры),
- Приборы для измерения плотности (радиометрические плотномеры),
- Программируемый логический контроллер,
- Персональный компьютер – АРМ оператора,
- Комплекс программно - технического обеспечения.

В сеть предприятия через стандартный файловый обмен, ежеминутно передаются значения массы твердого концентрата (сухой вес) в произведенной пульпе и объема пульпы.

Разработана структурная схема АСУТП систем учета количества произведенного концентрата в жидкой фазе (пульпе) для одного концентратного зумпфа (2 узла учета) для УО-1, УО-2, УО-3 ОФ АО «Лебединский ГОК» (**Рис. 4.**):

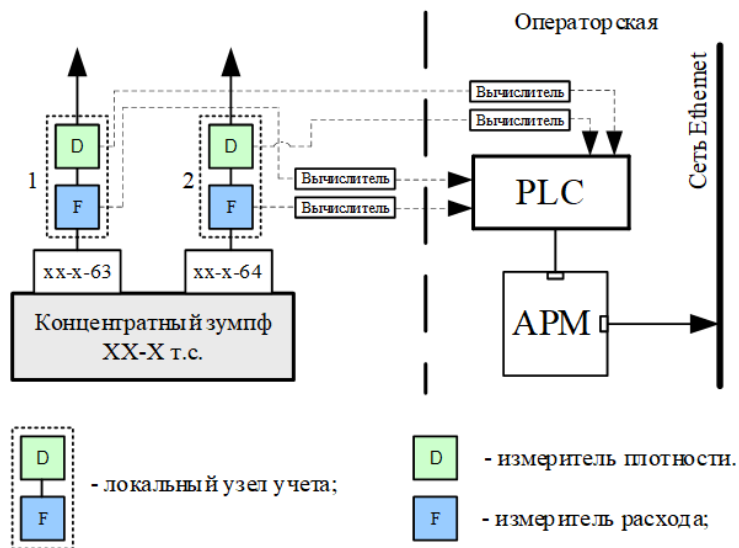


Рис. 4 – Структурная схема АСУТП систем учета количества произведенного концентрата в жидкой фазе (пульпе) для одного концентратного зумпфа (2 узла учета)

Состав оборудования для одного локального узла учета концентрата:

- прибор измерения расхода пульпы - расходомер (F);
- прибор измерения плотности пульпы - плотномер (D);
- вычислители - вторичные приборы;
- промышленный контроллер (PLC);
- автоматизированное место оператора (АРМ);
- сетевые коммуникации (Ethernet).

Разработана методика расчета концентрата по участку обогащения №1 (УО-1)

Количество концентрата, произведенного УО-1:

$$Q_{УО-1} = Q_1 - Q_2, \quad (1)$$

где: $Q_{УО-1}$ – масса (сухой вес) концентрата (суммарный по УО-1), (тонн).

- 1) Расчет количества концентрата, прошедшего через концентратные зумпфы (Q_1) (Рис. 5.):

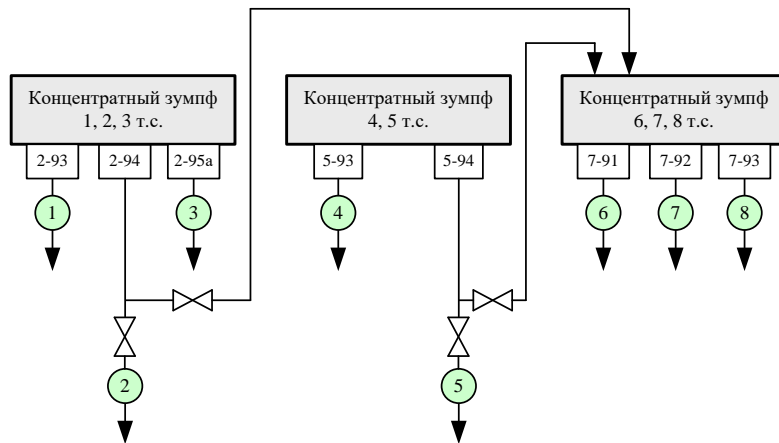


Рис. 5 – Расчет количества концентрата, прошедшего через концентратные зумпфы (Q_1)

$$Q_1 = Q_{УО-1_1} + Q_{УО-1_2} + Q_{УО-1_3} + Q_{УО-1_4} + Q_{УО-1_5} + Q_{УО-1_6} + Q_{УО-1_7} + Q_{УО-1_8} . \quad (2)$$

2) Расчет дополнительного количества концентрата, пришедшего из УО-2, УО-4 в УО-1 (Q_2):

$$Q_2 = (Q_{УО-1_9} + Q_{УО-1_{10}} + Q_{УО-1_{11}} + Q_{УО-1_{12}} + Q_{УО-1_{13}} + Q_{УО-1_{14}} + Q_{УО-1_{15}}) - (Q_{УО-1_{16}} + Q_{УО-1_{17}} + Q_{УО-1_{18}} + Q_{УО-1_{19}}) - (Q_{С-1} + Q_{С-2} + Q_{С-3} + Q_{С-4}) , \quad (3)$$

где:

- Сырье для в/ф УО-1 (дообогащенный концентрат)

Дообогащенный концентрат с УО-4 (Рис. 6.):

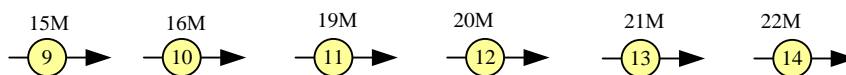


Рис. 6 – Дообогащенный концентрат с УО-4

Рядовой концентрат с УО-2 (Рис. 7.):

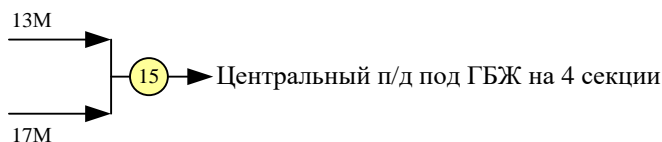


Рис. 7 – Рядовой концентрат с УО-2

- Переливы в/ф УО-1 (с дообогащенного концентрата) (Рис. 8.):

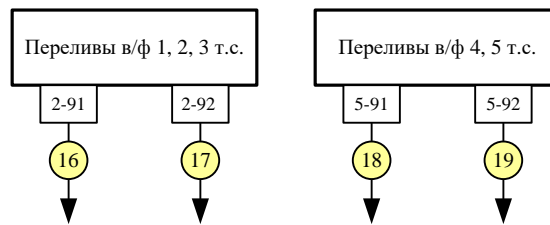


Рис. 8 – Переливы в/ф УО-1 (с дообогащенного концентрата)

- Отфильтрованный дообогащенный концентрат УО-1 (конвейерные весы) (Рис. 9.):



Рис. 9 – Отфильтрованный дообогащенный концентрат УО-1 (конвейерные весы)

Итого для УО-1 19 локальных узлов учета массового расхода концентрата.

Разработана методика расчета концентрата по участку обогащения №2 (УО-2)

Расчет концентрата по участку обогащения №2 УО-2 (Рис. 10.):

$$Q_{УО-2} = Q_{УО-2_1} + Q_{УО-2_2} + Q_{УО-2_3} + Q_{УО-2_4} + Q_{УО-2_5} + Q_{УО-2_6} + Q_{УО-2_7} + Q_{УО-2_8} - Q_{УО-2_9} - Q_{УО-2_10}, \quad (4)$$

где: $Q_{УО-2}$ – масса (сухой вес) концентрата (суммарный по УО-2), (тонн).

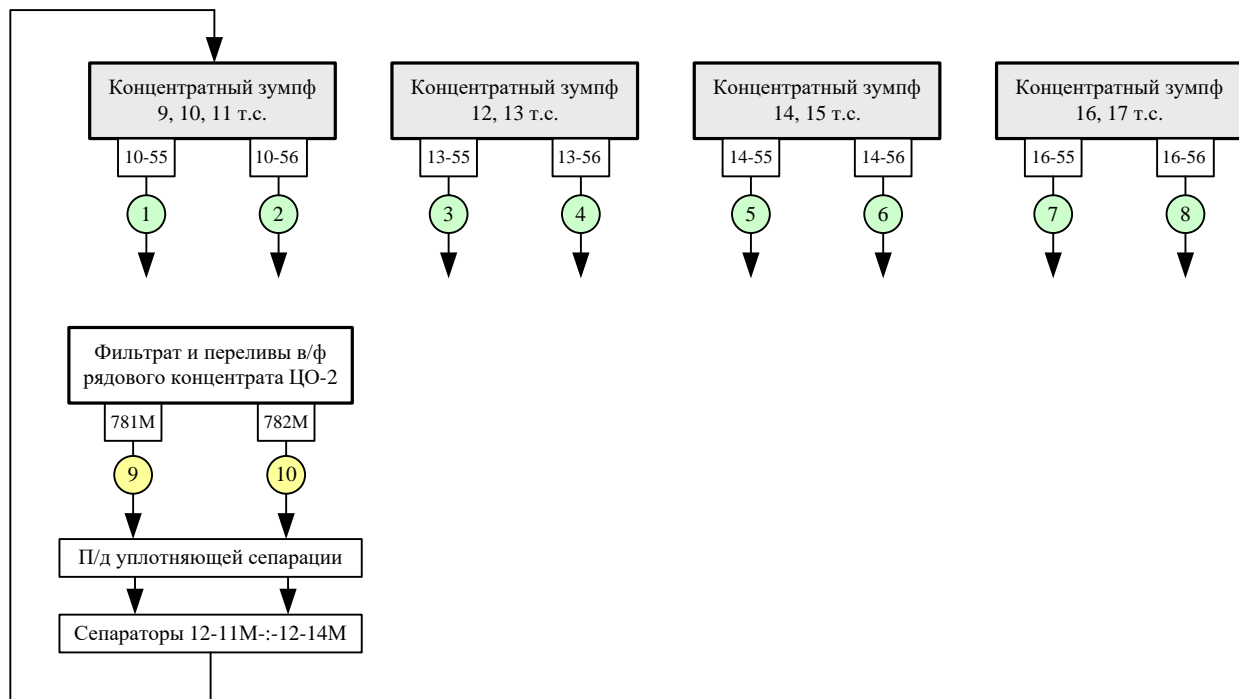


Рис. 10 – Расчет концентрата по участку обогащения №2 УО-2

Итого по УО-2 10 локальных узлов учета массового расхода концентрата.

Разработана методика концентрата по участку обогащения №3 (УО-3)

Расчет концентрата по участку обогащения №3 (УО-3) (Рис. 11.):

$$Q_{УО-3} = Q_{УО-3_1} + Q_{УО-3_2} + Q_{УО-3_3} + Q_{УО-3_4} + Q_{УО-3_5} + Q_{УО-3_6} + Q_{УО-3_7} + Q_{УО-3_8} + Q_{УО-3_9} + Q_{УО-3_10}, \quad (5)$$

где: $Q_{УО-3}$ – масса (сухой вес) концентрата (суммарный по УО-3), (тонн).

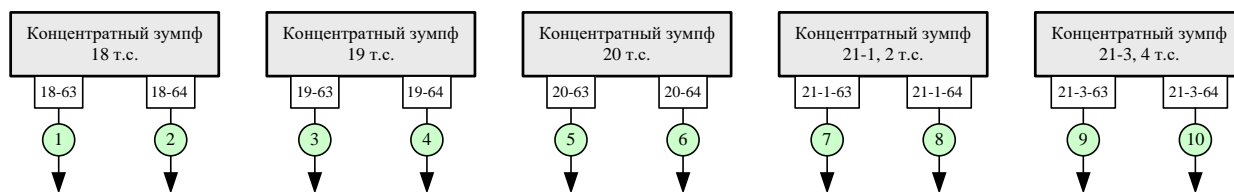


Рис. 11 – Расчет концентрата по участку обогащения №3 (УО-3)

Итого по УО-3 10 локальных узлов учета массового расхода концентрата.

Разработка алгоритмического обеспечения

Разработан алгоритм расчета массового расхода пульпы по жидкой фазе для узлов учета системы АСУЖФК ОФ ЛГОКа.

Алгоритм расчета массового расхода пульпы по жидкой фазе для узлов учета системы АСУЖФК ОФ ЛГОКа (Рис. 12.):

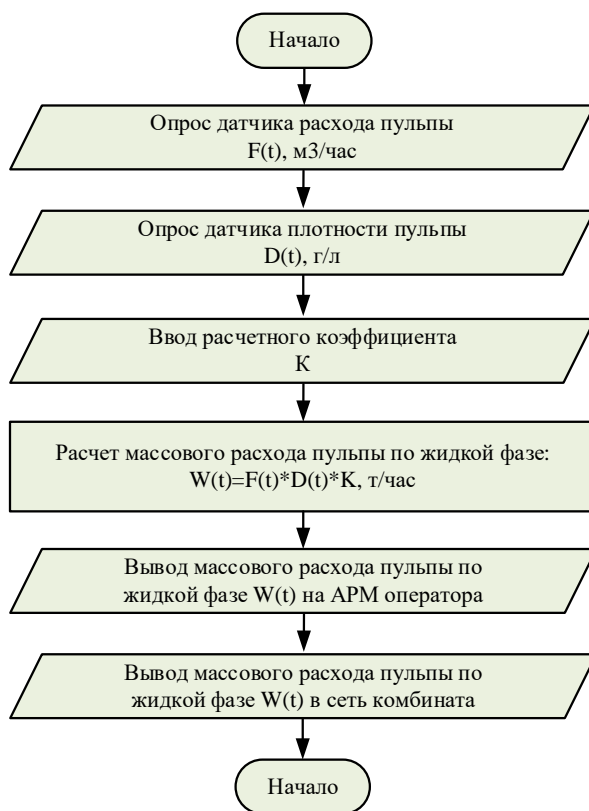


Рис. 12 – Алгоритм расчета массового расхода пульпы по жидкой фазе для узлов учета системы АСУЖФК ОФ ЛГОКа

Разработка схем комплексов технических средств АСУЖФК ОФ

Произведена разработка схем комплексов технических средств АСУЖФК по участкам обогащения УО-1, УО-2, УО-3 [3, 4, 5, 6, 7].

Схема комплекса технических средств УО-1 АСУЖФК ОФ (Рис. 13.):

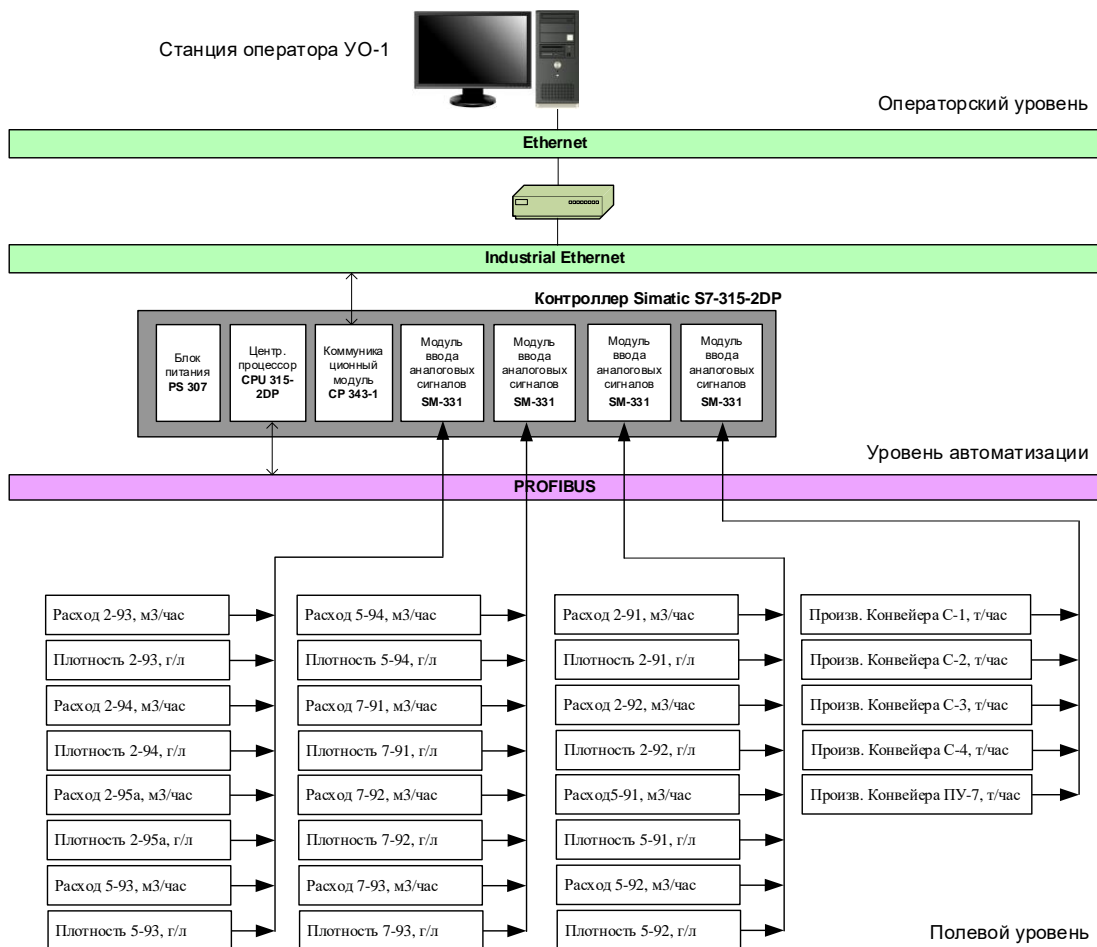


Рис. 13 – Схема комплекса технических средств УО-1 АСУЖФК ОФ

Схема комплекса технических средств УО-2 АСУЖФК ОФ (Рис. 14.):

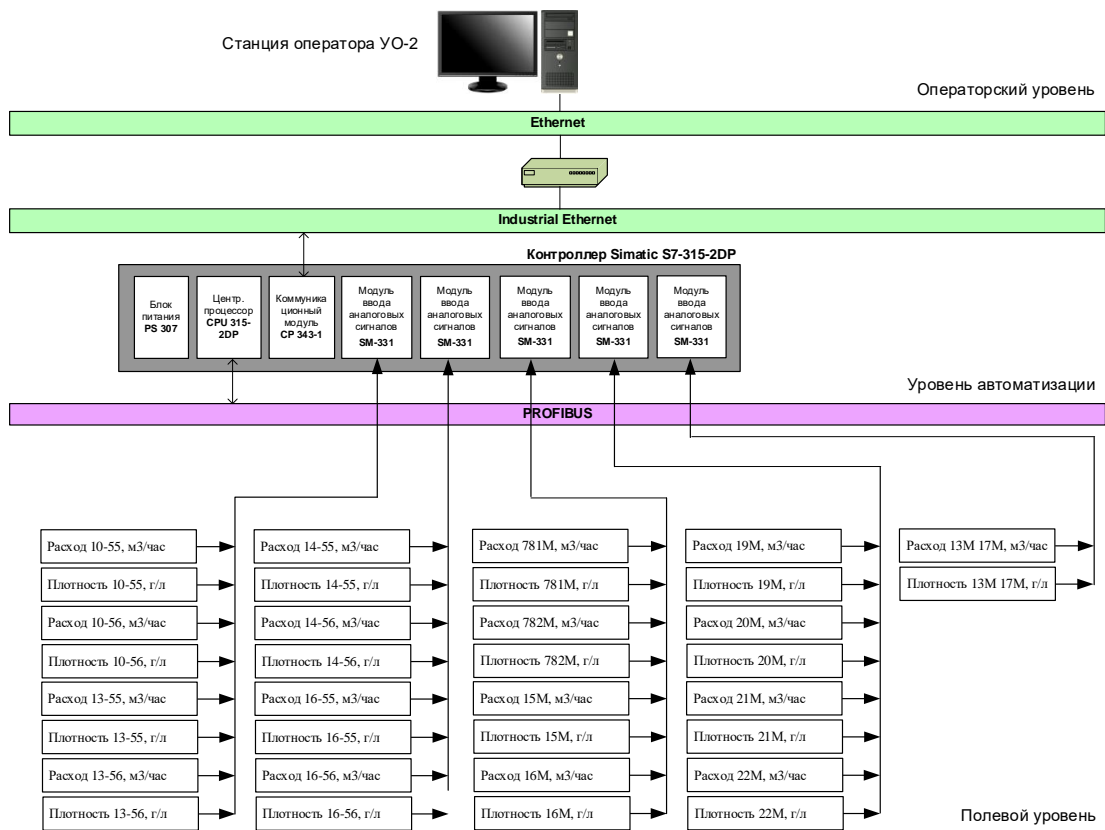


Рис. 14 – Схема комплекса технических средств УО-2 АСУЖФК ОФ

Схема комплекса технических средств УО-3 АСУЖФК ОФ (Рис. 15.):

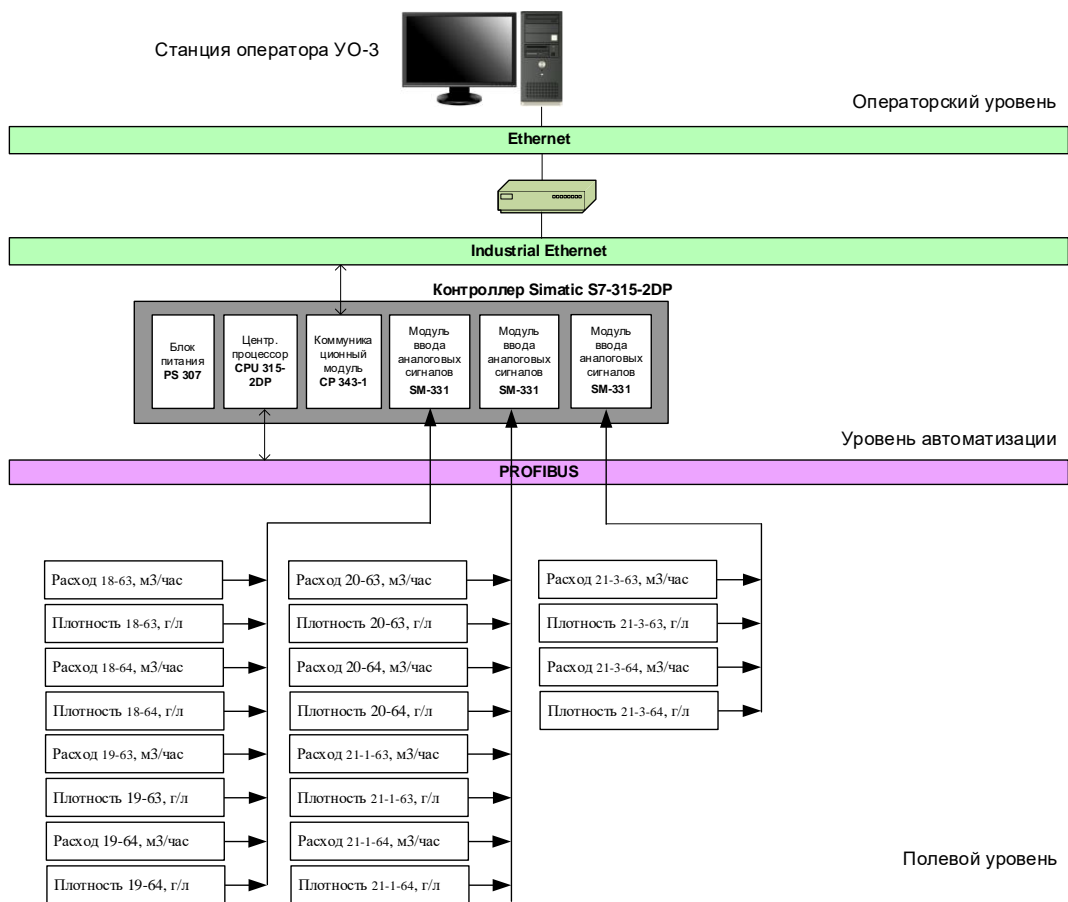


Рис. 15 – Схема комплекса технических средств УО-3 АСУЖФК ОФ

Разработка функциональных схем АСУТП АСУЖФК ОФ

В данном разделе произведена разработка функциональных схем АСУТП АСУЖФК по участкам обогащения УО-1, УО-2, УО-3 [3, 4, 5, 6, 7].

Функциональная схема АСУТП УО-1 АСУЖФК ОФ (Рис. 16.):

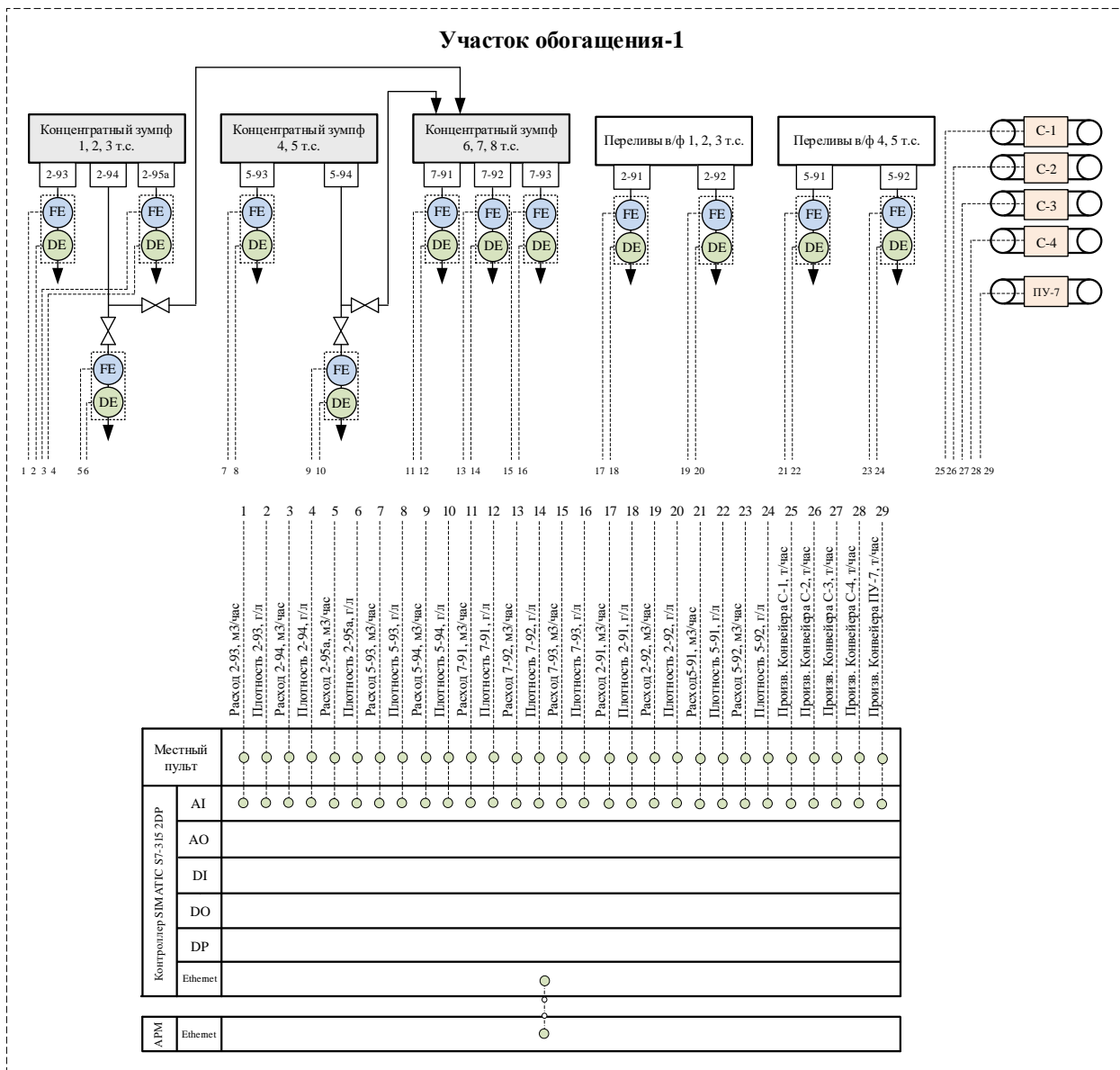


Рис. 16 – Функциональная схема АСУТП АСУЖФК УО-1 ОФ

Функциональная схема АСУТП УО-2 АСУЖФК ОФ (Рис. 17.):

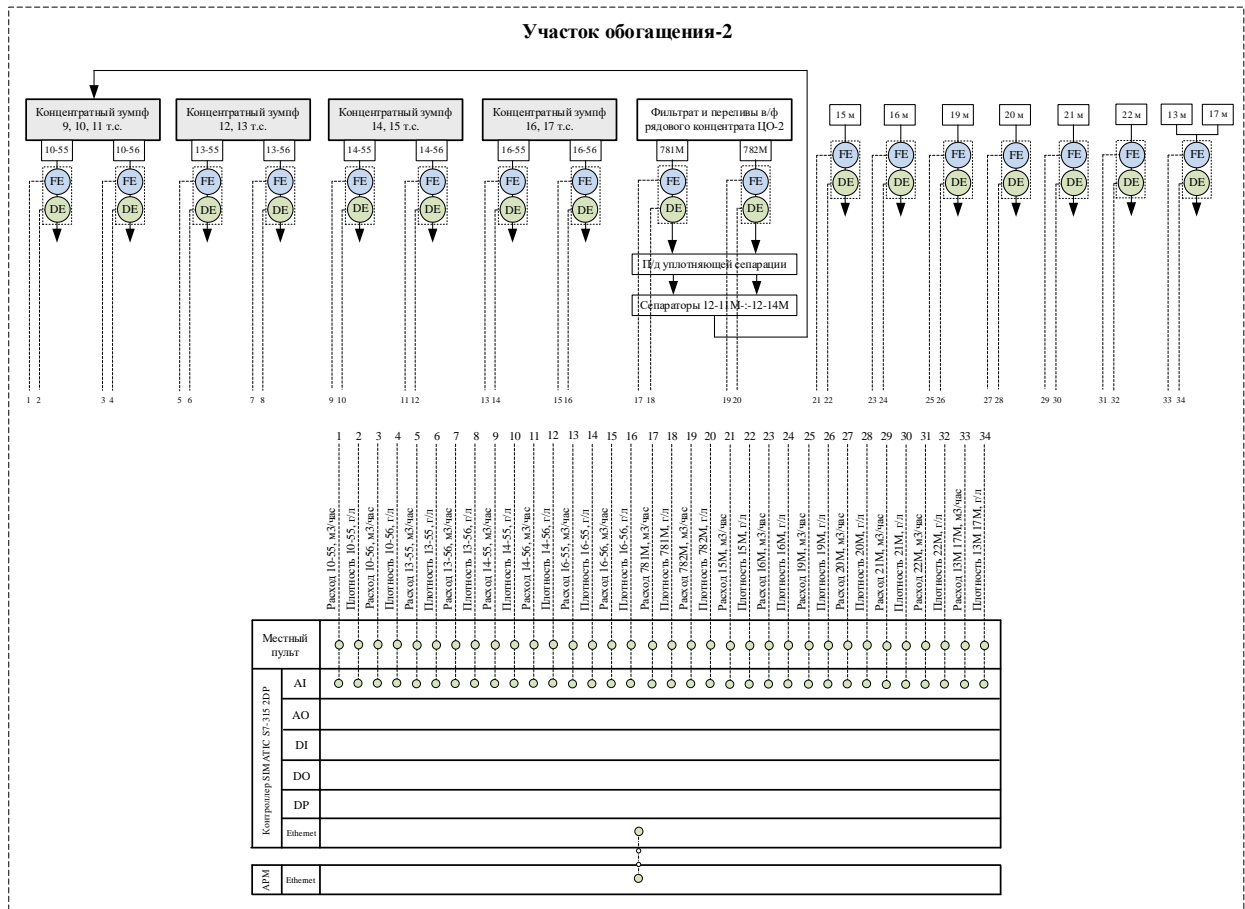


Рис. 17 – Функциональная схема АСУТП АСУЖФК УО-2 ОФ

Функциональная схема АСУТП УО-3 АСУЖФК ОФ (Рис. 18.):

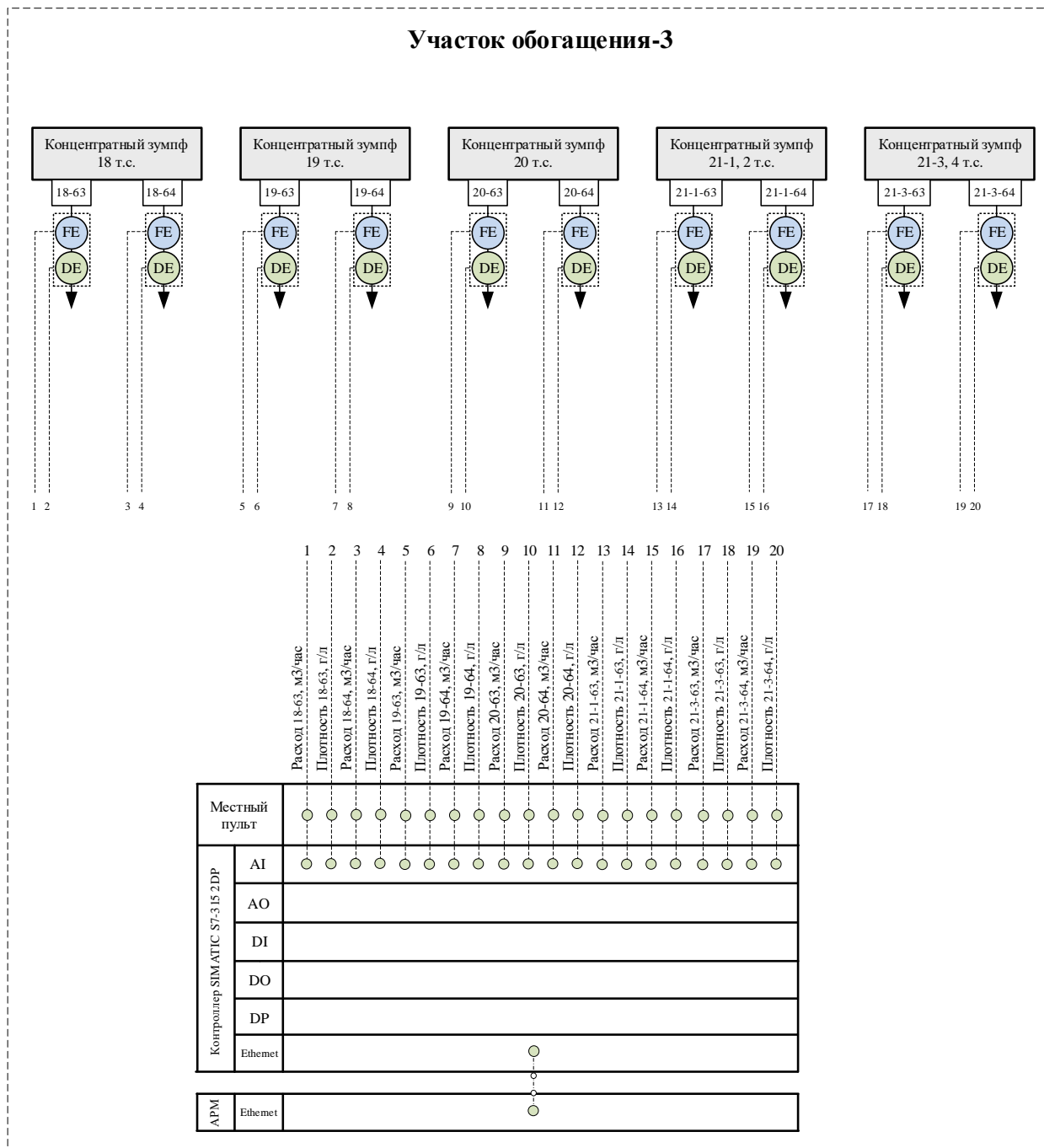


Рис. 18 – Функциональная схема АСУТП АСУЖФК УО-3 ОФ

Разработка программного обеспечения АСУЖФК ОФ

В данном разделе произведена разработка общей экранной формы визуализации АСУЖФК ОФ [3, 4, 5, 6, 7].

Вид общей экранной формы визуализации АСУЖФК ОФ (Рис. 19.):

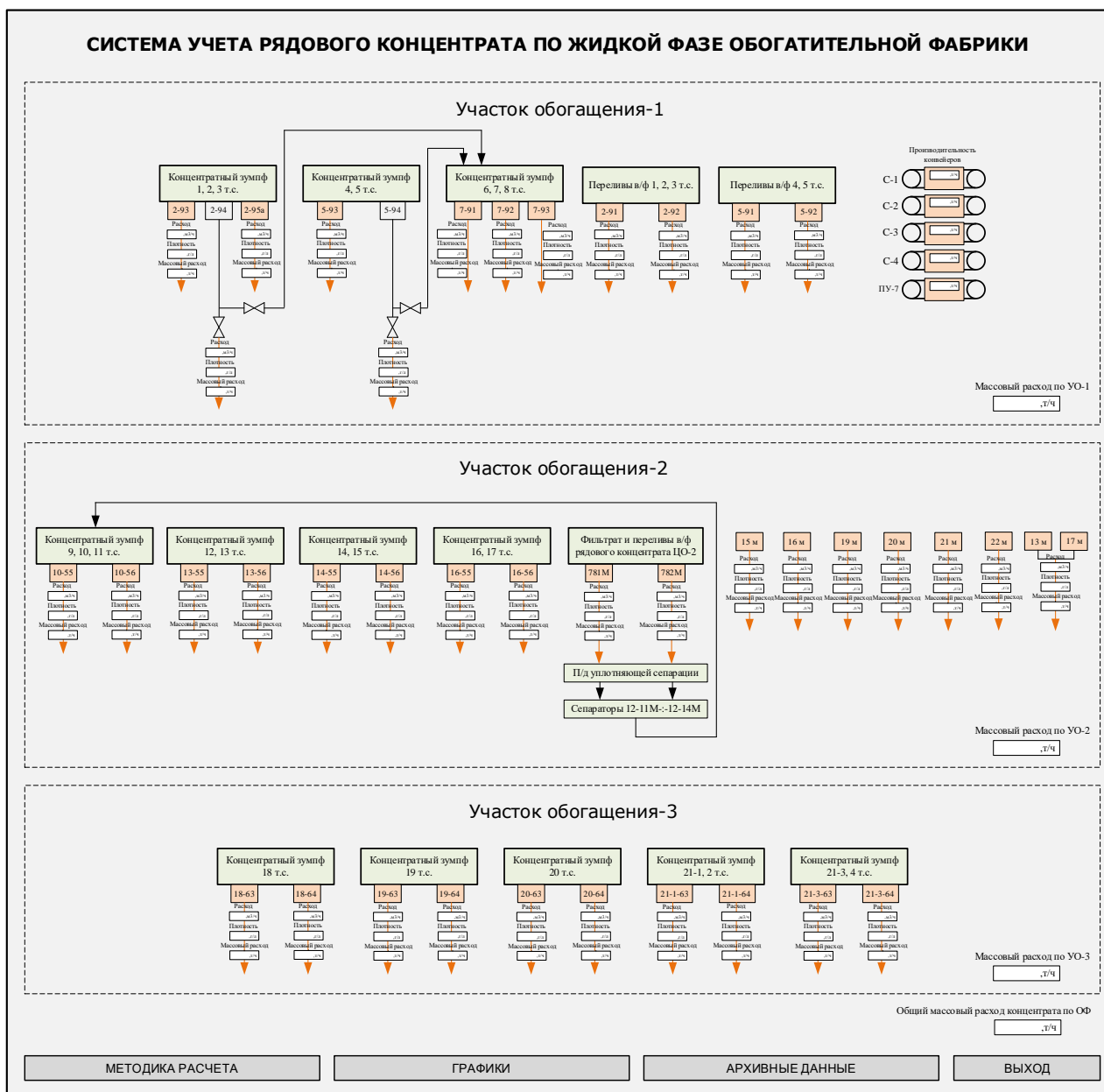


Рис. 19 – Вид общей экранной формы визуализации АСУЖФК

Заключение

Внедрение автоматизированной системы учета количества произведенного концентрата в жидкой фазе на обогатительной фабрике АО «Лебединский ГОК», обеспечит:

- оперативный контроль и коммерческий учет количества твердого (сухой вес) в произведенном концентрате УО-1, УО-2, УО-3 обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК».
- соблюдение требуемого технологического режима действующего непрерывного производства;
- исключение возможности ручного ввода информации и влияния человеческого фактора;

- повышение скорости и качества передаваемой информации;
- получение эффекта за счет снижения удельного расхода электроэнергии за счет перераспределения потоков пульпы по цехам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологическая инструкция дробление и обогащение кварцитов железистых обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК».
2. Автоматизация обогатительных фабрик./ Прокофьев Е.В. - Учебное пособие. - Екатеринбург: УГГУ, 2006. – 340 с.
3. Методы рациональной автоматизации производства: Выбор средств. Анализ функционирования. Управление развитием. Оценка эффективности / Э.Л. Ицкович. - М.: Инфра-Инженерия, 2009
4. Автоматизированные системы управления предприятиями (Методы создания). Справочное пособие./ Гринберг А.С., Колосков В.П., Михалев С.Б. и др. –М., Энергия, 1998. – 500 с.
5. Нестеров А. Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. - СПб.: Издательство ДЕАН, 2006.
6. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП. Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие. - М.: Инфра-Инженерия, 2008.
7. Автоматизированные системы управления предприятиями (Методы создания). Справочное пособие./ Гринберг А.С., Колосков В.П., Михалев С.Б. и др. –М., Энергия, 1998. – 500 с.

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ ГОРНОРУДНЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Тараненко М.Е., Попова М.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), taranenko@yandex.ru, 8-920-597-85-98

***Аннотация.** Актуальность импортозамещения контроллерного оборудования для автоматизированных систем управления технологическими процессами горнорудных и металлургических предприятий продиктована необходимостью обеспечения резервным оборудованием автоматизации для безаварийной работы и выполнения плана производства производственных переделов.*

Ключевые слова: импортозамещение; конвертер; технологический процесс; контроллер; автоматизированные системы управления; ПЛК; НЛМК.

**CONTROLLER EQUIPMENT IMPORT SUBSTITUTION
FOR AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS OF MINING AND
METALLURGICAL ENTERPRISES**

Taranenko M.E., Popova M.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, Belgorod region, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16, taranenko@yandex.ru, 8-920-597-85-98

***Abstract.** The relevance of import substitution of controller equipment for automated process control systems of mining and metallurgical enterprises is dictated by the need to provide backup automation equipment for trouble-free operation and fulfillment of the production plan of production workshops.*

Keywords: import substitution; converter; technological process; controller; automated control systems; PLC; NLMK.

Введение

В данной статье предлагается разработка АСУТП производства стали в кислородном конвертере производства НЛМК на базе отечественного контроллерного оборудования.

Технология производства

НЛМК является предприятием с полным металлургическим циклом, содержащим все производства, необходимые для получения из железорудного сырья конечного металлургического продукта – проката без покрытий и с покрытиями [1, 2, 3, 4].

Общая технологическая схема производства комбината (Рис.1.) включает: агломерационное, коксохимическое, доменное, сталеплавильное и прокатное производства. Нормальное функционирование основных производств осуществляют вспомогательные подразделения: Энергетическое производство, Ремонтное производство, Центр технического обслуживания и ремонтов, Огнеупорный цех, Ферросплавный цех, Копровый цех, Цех по переработке металлургических шлаков и другие.

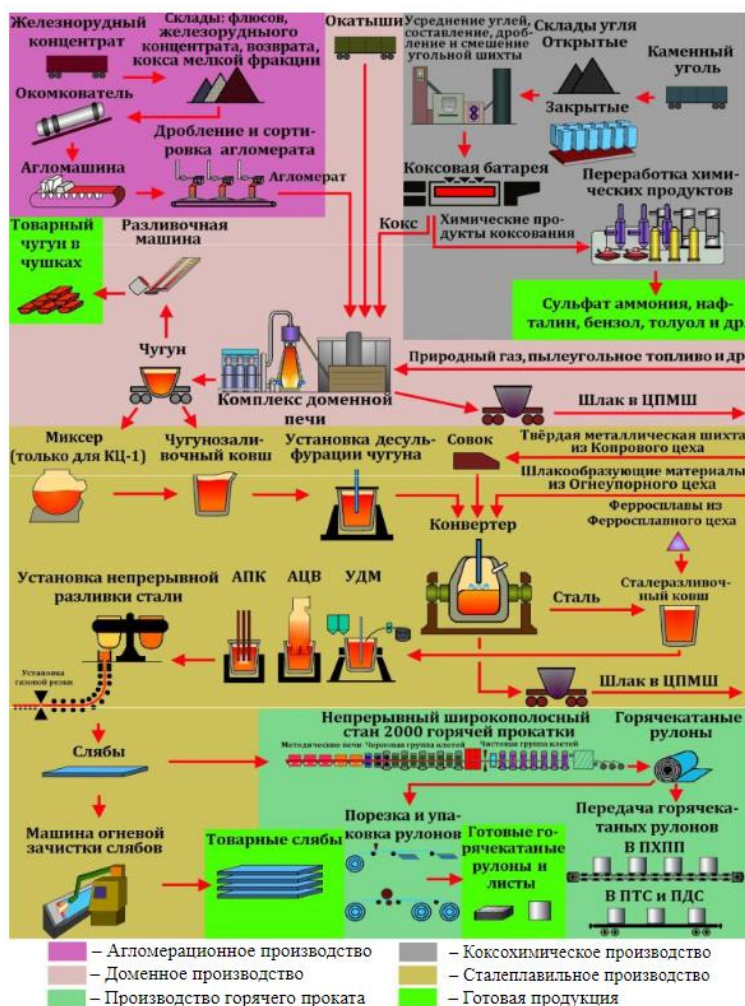


Рис. 1 – Общая технологическая схема производства комбината

Основной задачей сталеплавильного производства является получение из чугуна и металлического лома стали, которая в виде товарных слэбов (металлических заготовок прямоугольного сечения) может реализовываться потребителю или подвергаться дальнейшему переделу на стане горячей прокатки (прокату в лист и рулоны различных сечений и механических свойств). Сталь – сплав железа с углеродом и другими химическими элементами, отличающийся от чугуна меньшим содержанием углерода (до 2,14 %) и обладающий высокой пластичностью при высоких температурах, способностью при нагреве коваться, прокатываться.

В ОАО «НЛМК» сталь производят конвертерным способом, представляющим собой передел жидкого чугуна в сталь без затраты топлива и основанным на удалении (окислении) примесей (углерода, кремния, марганца, фосфора, серы) за счёт продувки жидкого чугуна кислородом и перевода этих примесей в шлак или газообразную фазу. После окисления примесей, из металлического сплава удаляют растворенный в нем кислород, вводят легирующие элементы и получают сталь заданного химического состава.

Процесс производства стали состоит из следующих операций: подготовка исходных (шихтовых) материалов и загрузка их в конвертер, выплавка стали в конвертере, выпуск расплава из конвертера, внепечная обработка жидкой стали, разливка стали, обработка поверхности слэбов.

Исходными материалами при производстве стали являются жидкий чугун, твёрдая металлическая шихта, шлакообразующие материалы, а также раскислители, легирующие материалы.

Сталеплавильное производство ОАО «НЛМК» состоит из двух Конвертерных цехов: Конвертерного цеха №1 (КЦ-1) и Конвертерного цеха №2 (КЦ-2). КЦ-1 оснащён тремя конвертерами номинальной ёмкостью по 160 тонн, двумя высокопроизводительными УНРС криволинейного типа и двумя УНРС вертикального типа. В состав оборудования КЦ-2 входят три конвертера номинальной ёмкостью по 300 тонн, четыре УНРС криволинейного типа и одна – радиального типа

В данной статье предлагается выбрать объект управления: «кислородный конвертер конвертерного цеха НЛМК».

Технологическая схема кислородного конвертера НЛМК приведена на рисунке (Рис.2.):

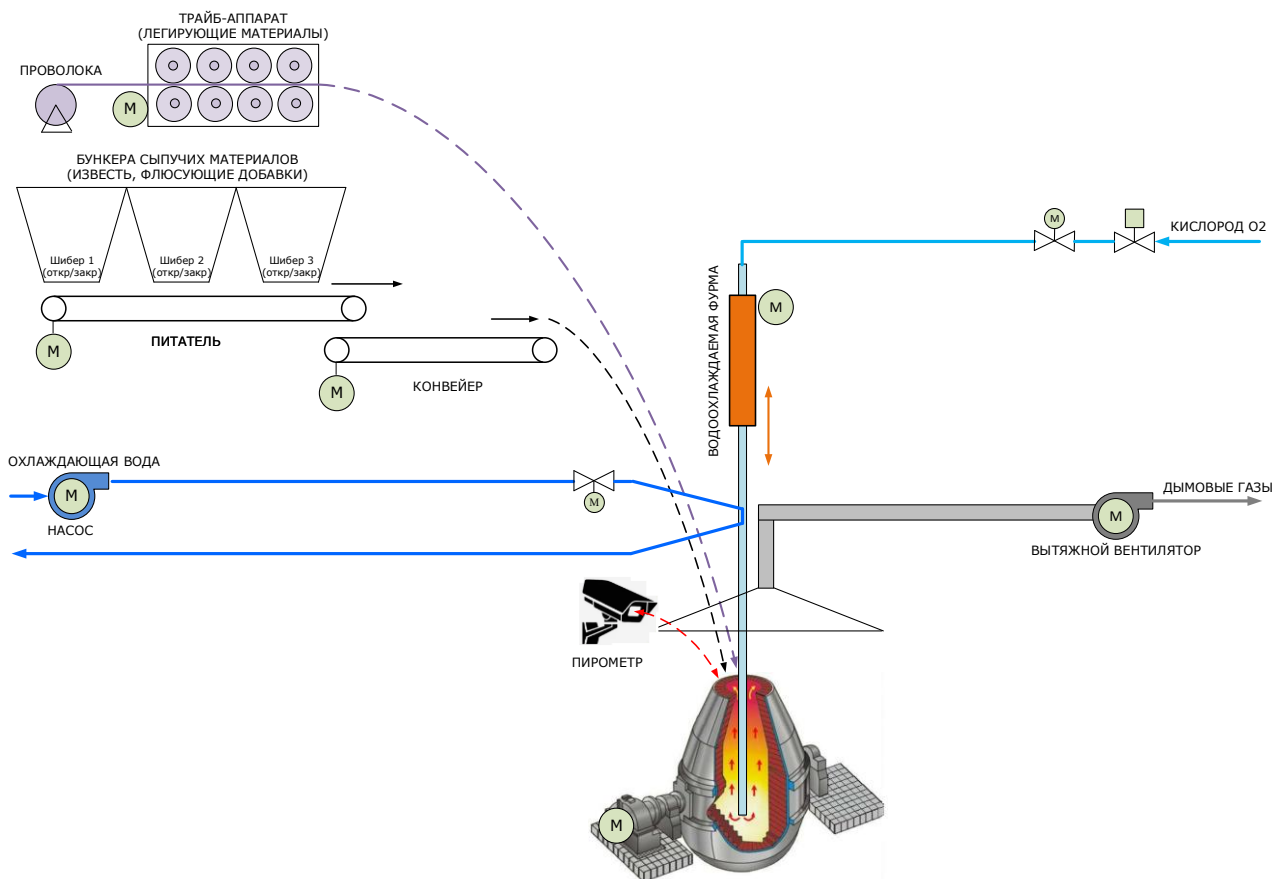


Рис. 2 – Технологическая схема кислородного конвертера НЛМК

Высокопроизводительный кислородно-конвертерный процесс является одним из наиболее важных металлургических объектов автоматизации. Усовершенствование его управления необходимо для получения стали с заданными температурой и составом при максимальной экономичности плавки. Однако задача полной автоматизации на основе совершенной модели процесса является крайне сложной и требует знания закономерностей воздействия множества факторов: физико-химических, газогидродинамических и других, до настоящего времени недостаточно исследованных.

Основные задачи автоматизации конвертерной плавки взаимосвязаны и должны решаться практически одновременно. К ним относятся:

- получение стали заданного состава, температуры и количества;
- сформирование шлака необходимого состава и количества, при этом требуемая основность шлака должна обеспечить условия удаления фосфора и серы, а требуемая окисленность должна обеспечить максимальную степень дефосфорации и, одновременно, минимальные потери железа в шлаке;
- обеспечение максимальной производительности агрегата (минимальные продолжительность операции и потери металла в шлаке и отходящих газах);

- минимальные затраты на процесс (все выше перечисленное должно обеспечиваться при минимальном расходе кислорода, шлакообразующих, огнеупоров и минимальных затратах рабочей силы на обслуживание систем контроля и управления).

Из этого следует, что при проведении конвертерного процесса необходимы безотказно действующие датчики для определения массы заливаемого чугуна, взвешивания лома и шлакообразующих, измерения температуры и состава отходящих газов, расхода кислорода, подаваемого для продувки металла, и т. п. Если в цехе обеспечена абсолютная стандартность от плавки к плавке состава шихты и температуры жидкого чугуна и установлены надежные устройства, обеспечивающие точность взвешивания материалов. То, проведя предварительно расчеты по определению количества кислорода, необходимого для окисления примесей и количества выделившегося при этом тепла, контролировать процесс плавки можно, зная лишь количество израсходованного на продувку ванны кислорода.

Существующее положение АСУТП

Для управления процессом продувки кислородного конвертера НЛМК используется ПЛК S7-400 (заказной код модуля процессора CPU 6ES7 414-2XK05-0AB0) фирмы «S». Для связи со станцией удаленного ввода/вывода и преобразователями частоты используется интерфейс Profibus. Для передачи данных на сервера визуализации используется дополнительно установленная коммуникационная плата CP 6GK7 443-1EX11-0EX0 с интерфейсом Industrial Ethernet.

Станция удаленного ввода/вывода представляет из себя ET200M станцию, с коммуникационным процессором 6ES7-153-1AA03-0XB0. В состав удаленной станции входят следующие модули ввода/вывода:

- 6ES7 321-1BL00-0AA0 - модуль ввода дискретных сигналов, 32 входа 24В;
- 6ES7 322-1BL00-0AE0 - модуль вывода дискретных сигналов, 32 выхода 24В;
- 6ES7 323-1BL00-0AA0 - модуль ввода/вывода дискретных сигналов, 16 входов/16 выходов на 24В;
- 6ES7 350-1AN03-0AE0 - 1-канальный модуль скоростного счета, до 500 КГц.

Данный модуль принимает сигнал с энкодера двигателя подъема/опускания фурмы.

Также на сети Profibus подключены два привода постоянного тока SIMOREG DC MASTER с коммуникационной платой Profibus.

В связи с тем, что запасные модули для данных ПЛК приобрести в Российской Федерации невозможно, то выход из строя одного из компонентов приведет к простою системы.

Фрагмент структурной схемы АСУ ТП управления фурмой кислородного конвертера (Рис.3.):

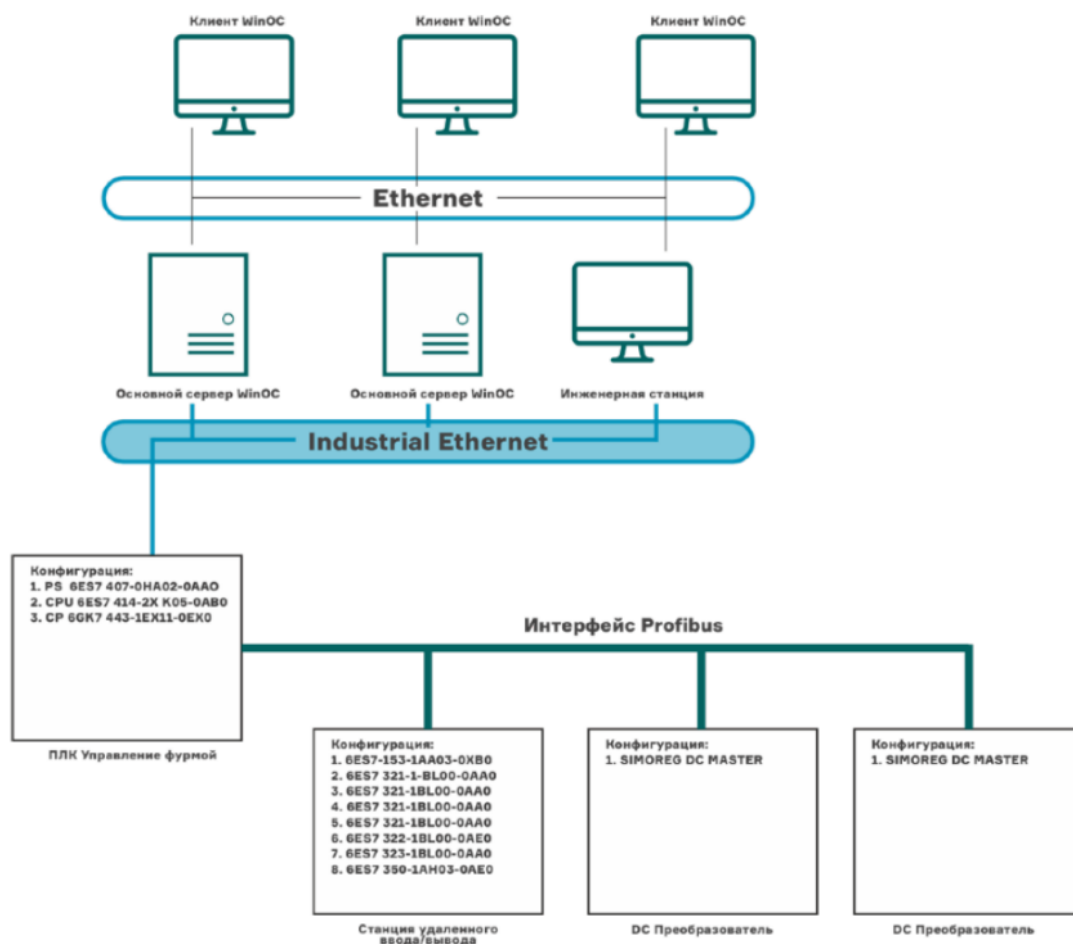


Рис. 3 – Фрагмент структурной схемы АСУ ТП управления фурмой кислородного конвертера

Недостатки текущего уровня АСУТП [5, 6, 7]:

- Зарубежные производители приостановили поставку программируемых логических контроллеров (ПЛК) в РФ. Импортные ПЛК являются основными компонентами, которые применяются в системах АСУ ТП в Группе НЛМК.

- Это может негативно сказаться на работе предприятия, например, может возникнуть аварийная ситуация, связанная с выходом из строя системы автоматического управления. Если мы не решим задачу поставок или не найдем замену импортным ПЛК, то конвертерное производство может остановиться.

- Необходимо создать алгоритм поиска ПЛК! Требуется разработать алгоритм наиболее оптимального выбора модели, производителя из имеющихся на рынке отечественных ПЛК.

Разработка АСУТП на базе отечественного контроллерного оборудования

В данной работе произведена разработка «Автоматизированная система управления технологическим процессом производства стали в кислородном конвертере НЛМК на базе отечественного контроллерного оборудования».

Произведен анализ рынка отечественного контроллерного оборудования

- «Овен»; СКВ «Промавтоматика»; «МЗТА»; «Компания ДЭП»; «Нефтеавтоматика» ПЛК серий МКLogic; «НПФ ДОЛОМАНТ»; «ЭлеСи»; «Электроприбор» (Чебоксары); НПФ «КРУГ»; ReaLLab!; «ТРЭИ»; ООО «Энергокруг»; Segnetics; БУК; Regul от «Прософт-Системы»; МОХА от «Ниеншанц-Автоматики».

В качестве промышленного контроллера отечественного производства АСУТП кислородного конвертера выбираем контроллер REGUL R500 ф. «ПРОСОФТ-СИСТЕМЫ» [8, 9].

Произведена разработка структурной схемы АСУТП конвертера (Рис. 4.):

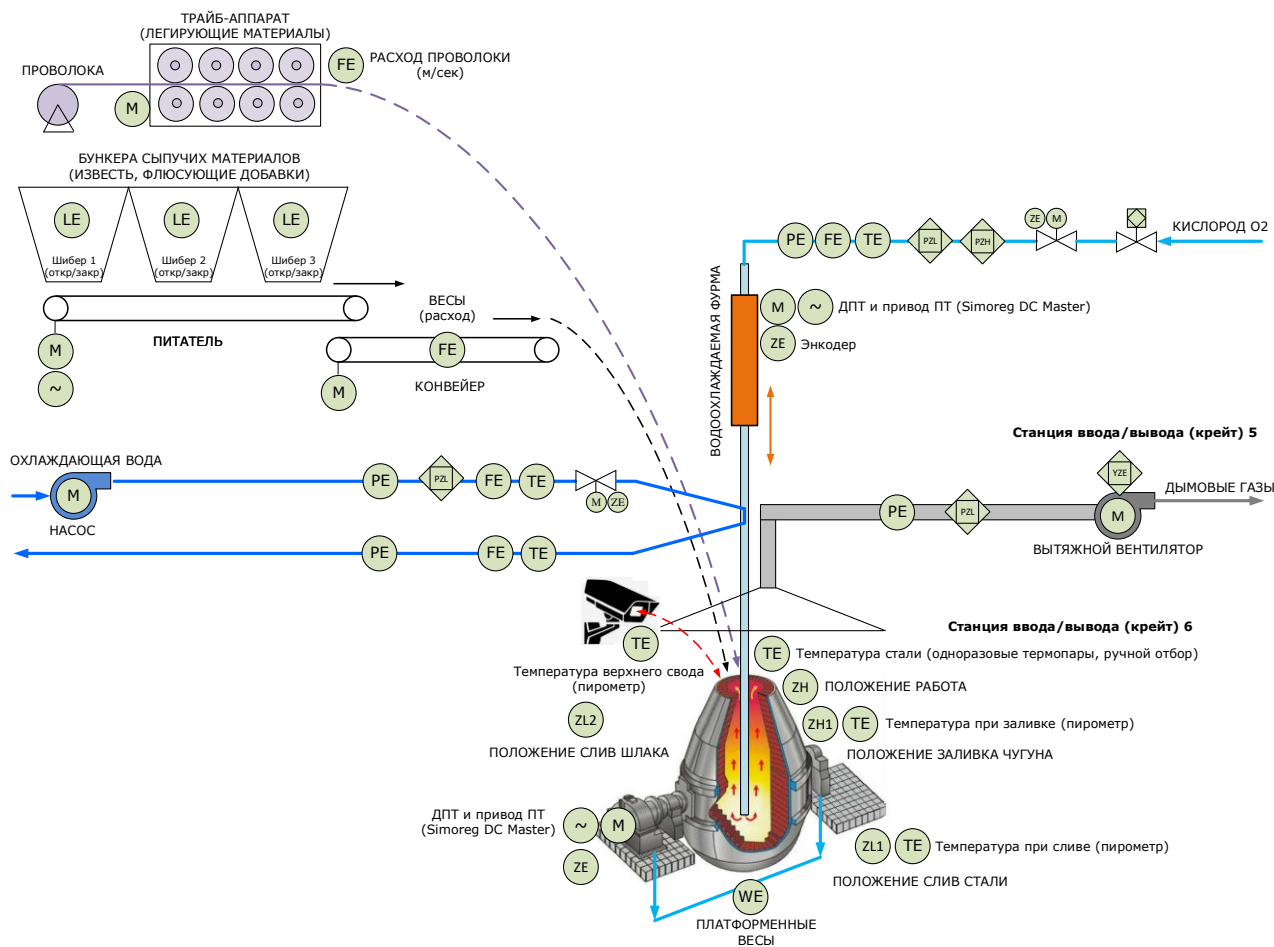


Рис. 4 – Структурная схема АСУТП кислородного конвертера:

М – электродвигатель; ~ - регулируемый привод; PE - датчик давления; TE - датчик температуры; FE - датчик расхода; WE - датчик веса; ZE - датчик положения; ZH - датчик верхнего положения; ZL - датчик нижнего положения; LE - датчик уровня; РЗП- регулируемая задвижка с датчиком положения; ОК - отсечной клапан (ПАЗ); PZL - реле минимального давления (ПАЗ); PZH - реле максимального давления (ПАЗ); YZE - реле работы оборудования

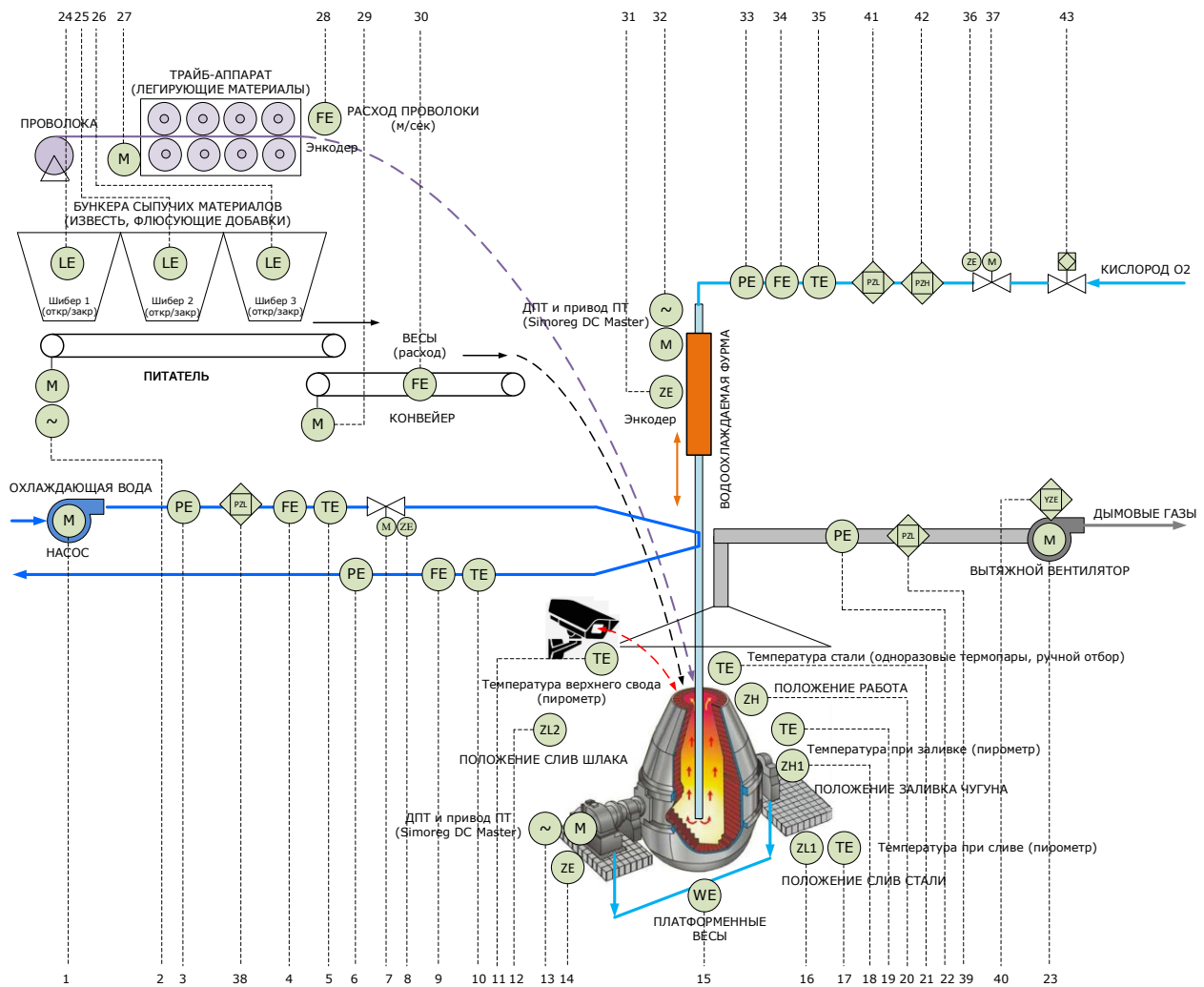
Контроллер REGUL R500 входит в семейство программируемых контроллеров REGUL RX00. Он предназначен для сбора и обработки информации с первичных датчиков,

формирования сигналов управления по заданным алгоритмам, приема и передачи информации по последовательным каналам связи.

Преимущества применения контроллера Regul R500:

1. Модульное, стационарное исполнение.
2. Возможность расширения и масштабирования АСУТП в будущем.
3. Достаточное быстродействие центрального процессора.
4. Достаточный объем внутренней памяти.
5. Достаточное количество входных и выходных сигналов.
6. Возможность использования децентрализованных станций ввода – вывода с подключением, как по волоконно-оптической связи, так и по витой паре (топология сети может быть любая: кольцо, звезда, смешанная).
7. Наличие в арсенале модулей скоростного счета для подключения энкодеров.
8. Контроллерная линейка Regul имеет в своем арсенале контроллерную технику для систем противоаварийной защиты (ПАЗ) с функциями резервирования.
9. Поддержка протоколов обмена: IEC 61 870 5 101 (Master/Slave); IEC 61 870 5 104 (Master/Slave); Modbus RTU (Master/Slave, с возможностями расширения); Modbus TCP (Master/Slave, с возможностями расширения); OPC DA, OPC UA; EtherCAT; возможна реализация дополнительных протоколов обмена по требованиям Заказчика, включая нестандартные (предлагается добавить PROFIBUS DP).
10. Поддержка интерфейсов: RS-232; RS-422/RS-485; Ethernet 10/100/1000 RJ-45 (full duplex) — до 4 портов на ЦП;
Ethernet 10/100/1000 FO (Single-mode, Multi-mode) — до 2 портов на ЦП.
11. Возможность обмена данными контроллера практически с любой SCADA системой, в данном случае с WinCC (через OPC-server).
12. Оборудование отечественного производства.
13. Возможность обеспечения резервом.
14. По сравнению с SIEMENS, намного меньшая стоимость оборудования.

Произведена разработка функциональной схемы АСУТП производства стали в кислородном конвертере производства НЛМК (**Рис. 5.**):



Силовой шкаф	Контроллер АСУТП Regul R500																																					Контроллер ПАЗ Regul R500																																																							
	AI	AO	DI	DO	DA	Modbus RTU	Ethernet																															AI	AO	DI	DO	DA	Modbus RTU	Ethernet																																																	
1								1	Управление насосом охлаждающей воды	2	Управление скоростью литейной	3	Давление соли, воды (линия контроля)	4	Расход соли, воды (линия контроля)	5	Температура соли, воды (линия контроля)	6	Давление соли, воды (линия контроля)	7	Управление запорной арматурой, воды	8	Положение клапана, охлаждающей воды	9	Расход соли, воды (линия контроля)	10	Температура соли, воды (линия контроля)	11	Положение конвейера (слив шлака)	12	Управление конвейером	13	Положение конвейера	14	Вес конвейера	15	Положение конвейера (слив стали)	16	Температура при сливе стали (пирометр)	17	Положение (слив чугуна)	18	Температура при заливке чугуна (пирометр)	19	Положение (слив чугуна)	20	Положение (слив чугуна)	21	Температура (разовые замеры)	22	Регулирование привода ДПП	23	Управление вытяжным вентилятором	24	Уровень в бункере 1	25	Уровень в бункере 2	26	Уровень в бункере 3	27	Управление трайб-аппаратом	28	Расход проволоки (сигнал)	29	Управление конвейером	30	Управление конвейером	31	Положение фурмы (сигнал)	32	Управление скоростью фурмы	33	Давление в линии кислорода	34	Расход в линии кислорода	35	Температура в линии кислорода	36	Положение клапана кислорода	37	Управление запорной арматурой, кислорода	38	Результат измерения влажности	39	Результат измерения давления	40	Результат измерения температуры	41	Результат измерения скорости	42	Результат измерения расхода	43	Результат измерения положения
APM	Ethernet																																				Ethernet																																																								

Рис. 5 – Функциональная схема АСУТП производства стали в кислородном конвертере производства НЛМК

Произведена разработка схемы комплекса технических средств АСУТП производства стали в кислородном конвертере производства НЛМК (Рис. 6):

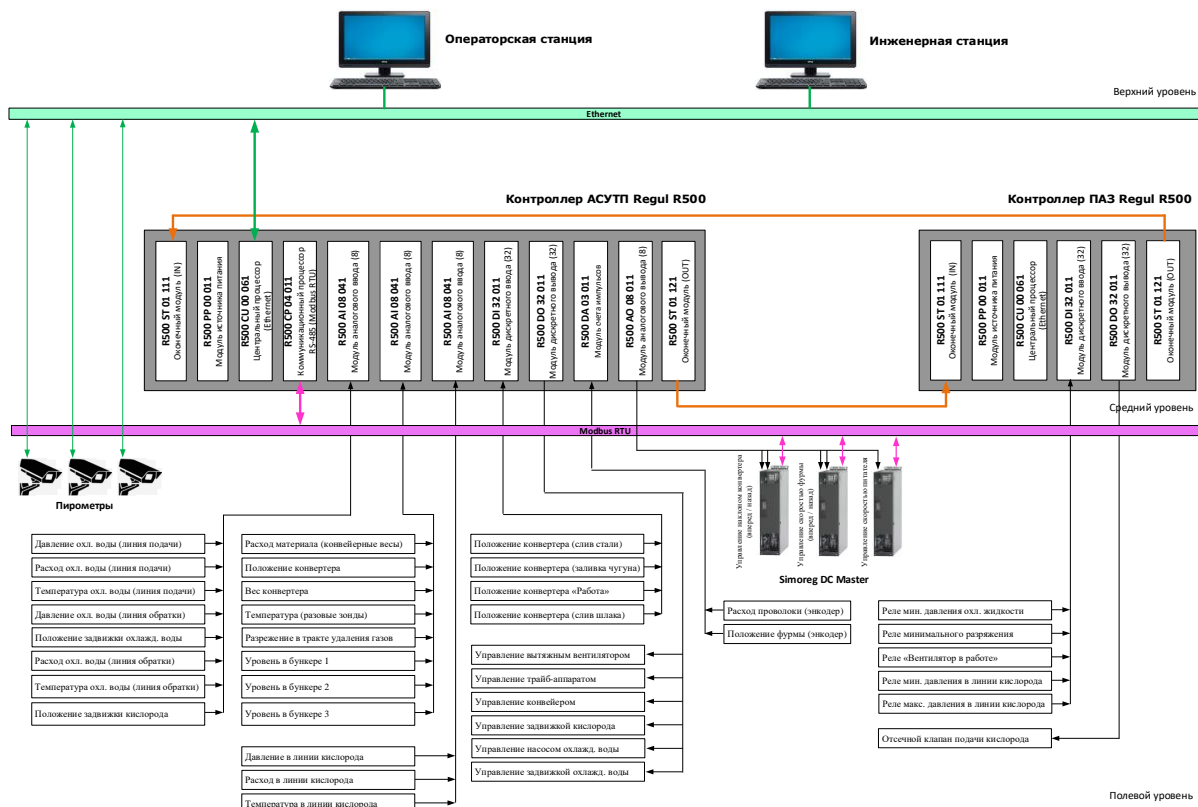


Рис. 6 – Структура КТС АСУТП производства стали в кислородном конвертере

Произведена разработка экранной формы визуализации АСУТП производства стали в кислородном конвертере производства НЛМК (Рис. 7.):

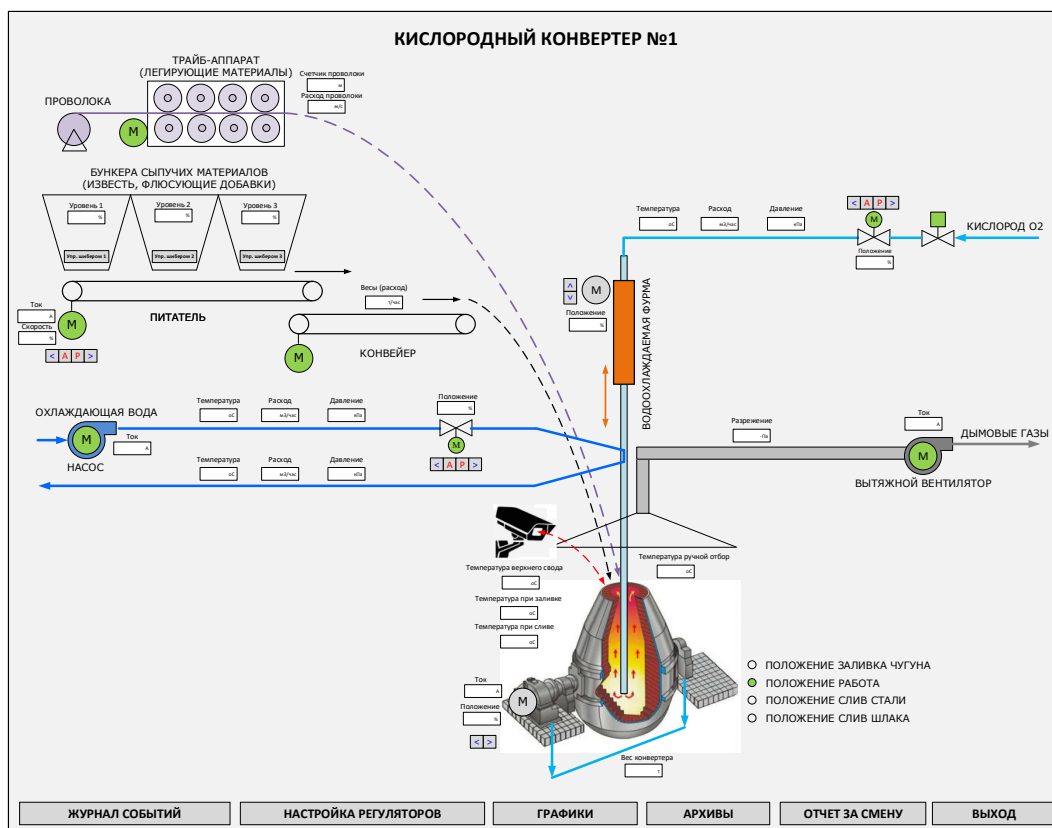


Рис. 7 – Экранная форма АСУТП производства стали в кислородном конвертере

Заключение

Реализация автоматизированной системы управления технологическим процессом производства стали в кислородном конвертере производства НЛМК на базе отечественного контроллерного оборудования, позволит:

- обеспечить безопасный для производства группы НЛМК переход АСУТП кислородно-конвертерного передела с контроллерной техники импортного производства (Siemens) на современную контроллерную технику отечественного производства.

- обеспечить автоматизацию контролирующих и управленческих функций технологического процесса производства стали в кислородном конвертере производства НЛМК с высокой надежностью в полном объеме;

- обеспечить подключение существующих средств контроля и управления кислородного конвертера с новой контроллерной техникой отечественного производства.

- обеспечить подключение, организовать обмен данными между новым отечественным контроллером и существующими операторскими и инженерными станциями с установленными проектами визуализации SCADA WinCC (без изменения программного обеспечения управляющих машин).

- исключить аварийные простои кислородно-конвертерного производства, связанные с выходом из строя контроллерных модулей импортного производства, без возможности закупки.

- обеспечить своевременную поставку запасных частей и модулей нового контроллерного оборудования отечественного производства.

- обеспечить требуемую производительность технологического процесса производства стали в кислородном конвертере производства НЛМК.

Экономический эффект от внедрения системы достигается за счет:

- обеспечения безопасного для производства группы НЛМК перехода АСУТП кислородно-конвертерного передела с контроллерной техники импортного производства (Siemens) на современную контроллерную технику отечественного производства.

- исключения аварийных простоев кислородно-конвертерного производства, в связи с выходом из строя контроллерных модулей импортного производства, без возможности закупки.

- обеспечения своевременной поставки запасных частей и модулей контроллерного оборудования отечественного производства.

- обеспечения требуемой производительности технологического процесса производства стали в кислородном конвертере производства НЛМК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Контроль и автоматизация металлургических процессов: Учебник для вузов. Глинков Г.М., Косырев А.И., Шевцов Е.К. М.: Металлургия, 1989. 352 с.
2. Кудрин В. А. «Металлургия стали» - М.: Металлургия, 1989.
3. Кудрин В. А., «Внепечная обработка - эффективный путь повышения качества металла» - М. «Металлургия», 1987, с. 112.
4. Г.Н. Ойкос, А.В. Степанов и др. «Обработка металла инертным газами» Металлургия, М, 1996 г., 111стр.
5. АСУТП в черной металлургии. Глинков Г.М., Маковский В.А. Учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: «Металлургия», 1999, 310 с.
6. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев; Под ред. А.С. Клюева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 464 с.: ил.
7. «Системы автоматизации и управления» Е.В. Прокофьев, Учебное пособие, Екатеринбург, издание УГГУ 1999, 120 с.
8. Электронный ресурс: URL: <https://www.prosoft.ru/products/>
9. Электронный ресурс: URL: <https://regul-plc.ru/>

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА КОЛЕСНЫХ ПАР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Блудов А.Н., Кошелев В.В.

*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(ГФ НИТУ «МИСИС»)
bik029@mail.ru, 8-920-581-00-11*

***Аннотация.** Исследуется проблема усиленного износа рельсов и колёсных пар подвижного состава и принципиальных недостатках бандажных колёсных пар, представлены методы снижения износа колёсных пар, а также выявлены недостатки существующих методов снижения износа гребней колёсных пар на современном горном подвижном составе, применяемом на горных предприятиях. Представлен комплекс производственных процессов для создания триботехнических материалов, который обеспечивает оптимизацию процесса восстановления колесных пар подвижного состава.*

Ключевые слова: износ; колесная пара; поверхностное упрочнение; триботехнические материалы; оптимизация профиля; шаблон; толщина гребня; подвижной состав; гребнесмазыватель; железная дорога; горный участок.

METHODS FOR REDUCING THE WEAR OF WHEEL SETS OF ROLLING STOCK

Bludov A.N., Koshelev V.V.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The problem of increased wear of rails and wheelsets of rolling stock is investigated, the fundamental disadvantages of banded wheelsets are presented, methods for reducing wheelset wear are presented, and disadvantages of existing methods for reducing wear of wheelset ridges on modern mining rolling stock used in mining enterprises are revealed. A set of production processes for the creation of tribotechnical materials is presented, which ensures the optimization of the process of moving rolling stock.*

Keywords: wear; wheelset; surface hardening; tribotechnical materials; profile optimization; template; ridge thickness; rolling stock; comb lubricator; railway; mountain section.

Многочисленные факторы увеличения объемов железнодорожных перевозок на горных предприятиях приводят к увеличению износа рельсов и колесных пар подвижного состава. Среди них - несовершенство рессорного подвешивания, разница в диаметрах катания бандажей одной колесной пары, асимметрия колесных пар в раме тележек, статическая развеска колесных пар и увеличение массы состава.

Основными неисправностями бандажей колесных пар являются нарушения с параметрическими отклонениями, такими как предельный прокат и износ гребня по толщине, нарушение технологии ремонта подвижного состава, ошибки при ведении состава (образование ползунов, смещение бандажа относительно колесного центра, неравномерный износ поверхности катания) и технология нарушения изготовления бандажей и формирование колесных пар (образование пазов, трещин, ослабление посадки бандажа).

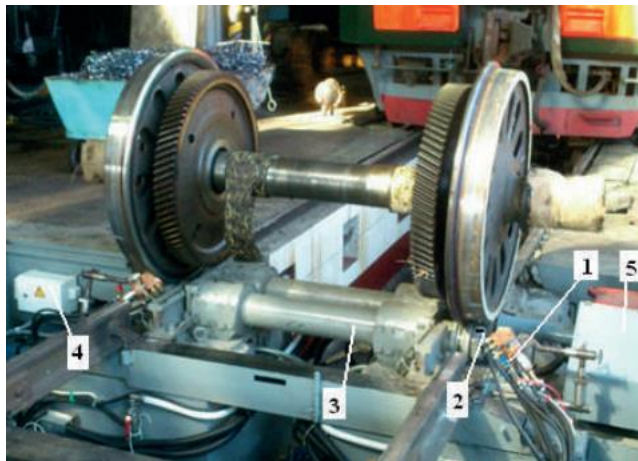
Для измерения частоты изнашивания проката и гребня колесных пар используются ручные и автоматизированные методы. В случае ручного измерения применяют абсолютный шаблон. Определяемый размер толщины гребня должен находиться в пределах 25–33 мм, срок ревизии составляет 2 месяца.

Для автоматизации диагностики и измерения параметров колесных пар подвижного состава в движении используются различные диагностические комплексы к примеру, ARGUS компании Hegensheidt-MFD.

Этот набор методов позволяет отслеживать состояние колесных пар после их сборки, используя программное обеспечение, исключая человеческий фактор [2]. На данный момент удалось значительно снизить скорость износа до уровня, при котором интервал между заменами ободьев колес составляет 300–400 тысяч километров. В 85% случаев износ гребня бандажа происходит с большей скоростью, чем износ поверхности катания [1]. Для увеличения срока службы ободьев используются методы поверхностного упрочнения, оптимизации профиля и использования материалов с устойчивыми триботехническими характеристиками. Рассмотрим подробнее каждый из этих способов снижения износа гребней колесных пар подвижного состава.

Упрочнение гребней колесных пар подвижного состава производится с учетом ТУ 0943–218–01124323–2006 «Бандажные колеса с термическим упрочнением гребня». Для этого разработаны и используются три основные технологии: лазерная, плазменная и электроконтактная. Применение первых двух фактически сводится к закалке металла, так как осуществляется сначала его нагрев на поверхности постоянно действующим источником тепла (струей плазмы или лазерным лучом), а затем последующее быстрое охлаждение путем отвода тепла в глубь металла. Что касается лазерной технологии, то на горных железных дорогах действует лишь единичные участки лазерной обработки. Лазерное упрочнение

основано на прохождении светового потока, который поглощается свободными электронами в приповерхностном слое (толщиной 0,1–1 мкм), что приводит к повышению их энергии и интенсификации столкновений между собой. Применение лазерного комплекса требует высокой квалификации обслуживающего персонала, дополнительных затрат, связанных с



формированием поглощающих покрытий на поверхности упрочняемой детали (снижение отражающей ее способности увеличивает КПД лазера), особых климатических и санитарных условий в производственных помещениях.

Рис. 1 – Установка плазменного упрочнения. 1 – суппорт; 2 – плазмотрон; 3 – универсальный вращатель; 4 – источник питания; 5 – блок поджига.

Наиболее распространённой является плазменная технология рис. 1. При включении установки 4 в работу в плазмотроне 2 последовательно возбуждаются дежурная и рабочая (основная) дуга. При взаимодействии последней с переменным магнитным полем электромагнитного сканатора 5 происходит синхронное перемещение (сканирование) с заданной амплитудой электродной привязки дуги по обрабатываемой поверхности, вследствие чего наблюдается скоростной нагрев поверхностного слоя до температур фазовых превращений. Затем по мере вращения колесной пары универсальным вращателем 3 и удаления нагретых участков от зоны сканирования происходит их интенсивное охлаждение за счет кондуктивного отвода тепла в нижележащие, более холодные слои металла, т. е. происходит процесс самозакалки. Суппорт 1 служит для придания заданного пространственного положения плазмотрону 2 относительно обрабатываемой поверхности гребня колеса. В результате на обрабатываемой поверхности колесной пары за один ее оборот образуется упрочненный слой с определенными геометрическими и физико-механическими характеристиками. Данный слой представляет собой многокомпонентную химически активную и высокотемпературную струю продуктов сгорания углеводородного газа (метана,

пропан-бутана). При этом качество упрочненных слоев зависит от расходных материалов, температуры в цехе, технического состояния установок и стабильности режимов [3, 4]. Уменьшение износа гребней колесных пар подвижного состава возможно достичь за счет использования поверхностного упрочнения колес.

Обточка бандажей колесных пар подвижного состава способствует уменьшению износа до приемлемых средних значений. К тому же на практике часто возникает необходимость выполнить обточку в промежутках между ремонтами, т. е. обточить колесные пары без выкатки из-под подвижного состава, что сложнее сделать при поверхностном упрочнении.

В депо по ремонту железнодорожного подвижного состава для обточки бандажей без выкатки колесных пар используют станок КЖ-20М Краматорского станкостроительного производственного объединения. Диагностический комплекс станка определяет отклонения в геометрии колеса, позиционируя на станке и рассчитывая слой металла, который необходимо снять. На обод колеса крепится магнитик со светоотражающей пленкой. С ее помощью оптический датчик определяет диаметр колеса. Колесную пару 1 вращают опорно-приводные ролики 2, а резание производят профильные фрезы 3, имеющие собственный привод (рис. 2, б). На спиральных гранях такой фрезы в шахматном порядке расположены цилиндрические твердосплавные резцы, образующие профиль бандажа. Прижимное устройство дает также возможность обрабатывать бандажи одиночных колесных пар, выкаченных из-под локомотива [6].



Рис. 2 – Колесно-токарный станок по обточке а – установка локомотива на станке: 1 – локомотив; 2 – станок; б – принцип действия станка: 1 – колесо; 2 – ролик; 3 – резец.

Основной недостаток этого метода заключается в том, что при высокой степени износа гребней бандажа необходимо удалить большую часть рабочего слоя с поверхности бандажа для восстановления номинальных геометрических параметров профиля катания, что приводит к технологическому износу. В настоящее время технологический износ бандажей грузовых

локомотивов горных предприятий составляет до 60% общего износа, что приводит к преждевременному сокращению срока службы до замены.

Использование смазочного материала позволяет изменить свойства третьего тела при трении, что ведет к снижению значения коэффициента трения и уменьшению износа. Лубрикация гребней колесных пар и боковой поверхности рельсов для снижения интенсивности изнашивания активно применяется на железных дорогах с середины XX в. Различают обработку боковой поверхности с помощью передвижных рельсосмазывателей и нанесение смазки на гребни колесных пар с помощью передвижных и бортовых систем лубрикации. В настоящее время в контакте колесо–рельс широко применяют различные смазочные материалы. По своему агрегатному состоянию они делятся на жидкие (масла), пластичные и твердые. Жидкие смазочные материалы требуют повышенной герметизации систем подачи смазки для предотвращения их вытекания и загрязнения тяговой поверхности колеса и верхнего строения пути. Перспективными смазочными материалами являются твердые и пластичные, лишенные приведенных выше недостатков [7]. Определенного успеха в разработке и внедрении твердых и пластичных смазочных материалов и триботехнических средств для снижения износа гребней колес и рельсов добились российские и зарубежные ученые [8–13].

Для углубленного изучения процесса истирания, а также разработки новых триботехнических материалов, удовлетворяющих современным условиям эксплуатации подвижного состава, разработан производственный комплекс создания триботехнических материалов. Объектами исследования являются модификаторы трения, применяемые в рельсовом транспорте для смазывания гребней колес подвижного состава. Производственный процесс включает два технологических этапа: разработка и апробация триботехнических материалов. Для разработки триботехнических материалов используют лабораторный комплекс (рис. 3), включающий опытную лабораторную установку (рис. 3, а) и принципиально новую стендовую аналогию, имитирующую процесс истирания твердых триботехнических материалов (рис. 3, б). Внедрение лабораторного комплекса обеспечивает минимальные затраты времени, удобство выполнения измерений, возможность изменения различных параметров, не требующих занятия перегона измерительным подвижным составом. Затрачиваемые средства при этом значительно ниже, чем при полевых испытаниях. Опытная установка (рис. 2, а), состоит из трубки 1, в которую помещают триботехнический материал в форме стержня, и основания 2. Установка монтируется на суппорте 4 токарно-винторезного станка 1М61М и имитирует процесс истирания разрабатываемого материала о модель колеса 3 подвижного состава. В процессе испытаний можно задавать угол подачи

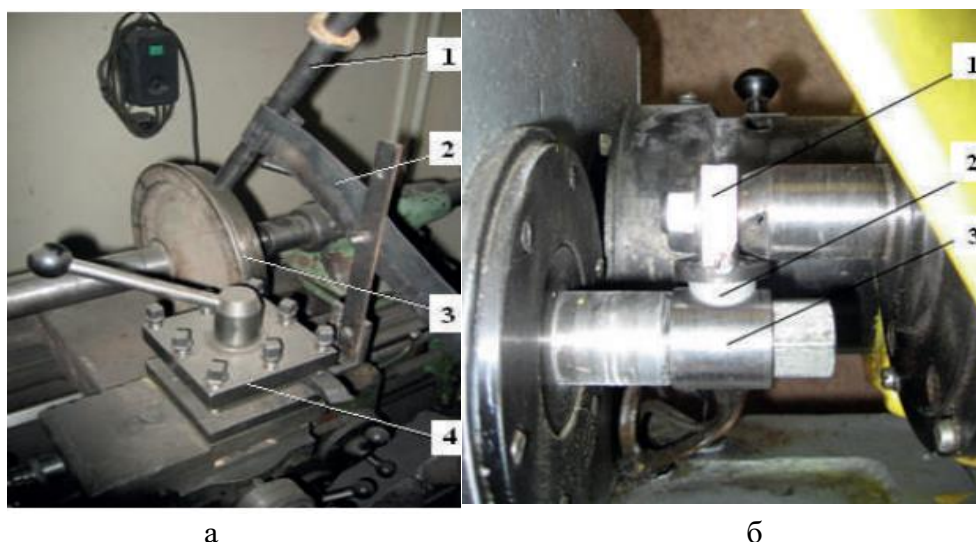


Рис. 3 – Лабораторный комплекс. а – опытная лабораторная установка: 1 – трубка; 2 – основание; 3 – модель колеса; 4 – суппорт; б – стендовая аналогия, имитирующая процесс истирания твердых триботехнических материалов: 1 – держатель оболочки; 2 – оболочка смазочного элемента; 3 – ролик, имитирующий гребень колеса

разрабатываемого материала, нагрузку, скорость вращения модели колеса 3, определяя возможный ресурс. Образующий слой в процессе взаимодействия материала с моделью колеса удаляется с модели колеса при помощи щетки, имитирующей рельс. Аналогия, имитирующая процесс истирания оболочек триботехнических материалов о гребень колеса подвижного состава, успешно моделируется в лабораторных условиях на машинах трения типа «Амслер» (рис. 3, б). На верхний вал машины трения типа «Амслер» закрепляется держатель с оболочкой смазочного элемента, а на нижний – ролик, аналогичный длине и материалу гребня колеса. Комплекс измерительной аппаратуры позволяет регистрировать: изменение момента трения; изменение температуры в контакте; скорость вращения ролика; линейный износ оболочки в процессе испытаний; незначительную нагрузку (до 15 Н) на оболочку смазочного элемента. Благодаря данной аналогии представляется возможным определить влияние нагрузки, скорости, температуры, а также материала и толщины оболочки на процесс истирания и расход оболочечных триботехнических материалов. Это позволит оптимизировать процесс гребнерельсосмазывания путем нанесения минимального количества триботехнических материалов, уменьшая при этом износ гребней колес подвижного состава [17].

Для тестирования триботехнических материалов используется расходный комплекс (см. рисунок 4), включающий систему видеомониторинга (рис. 4, а) и опытный гребнесмазыватель (рис. 4, б).

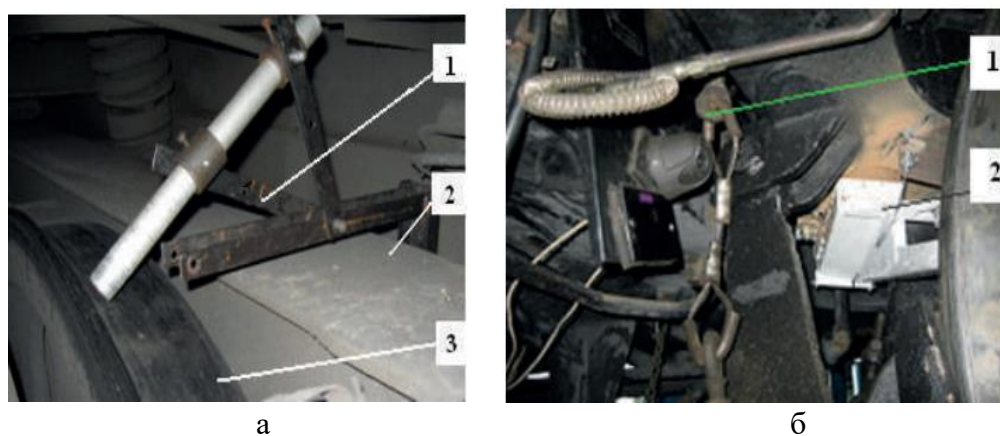


Рис. 4 – Эксплуатационный комплекс. а – процесс видеомониторинга: 1 – система видеомониторинга; 2 – конструкция ГРС 20.07; б – опытный гребнесмазыватель

Система видеомониторинга предоставляет возможность наблюдать за состоянием гребней колес, как при наличии смазочного материала, так и без него на протяжении всего периода эксплуатации. Для этого на борту тяговой единицы устанавливается регистрирующий блок системы видеонаблюдения, включающий многоканальный блок видеозаписи, видеомонитор и систему электропитания бортовой телеаппаратуры. Программное обеспечение регистрирующего блока позволяет быстро выбирать интересующий видеофрагмент (время выбора не более 20 мс) и детально изучать его в разных режимах. Оперативный просмотр видеозаписи доступен на борту подвижной единицы через режимы "Стоп-кадр", "Вперед", "Назад", "Увеличение", "Ускорение просмотра".

Идентификационный блок системы видеомониторинга 1 (см. рисунок 4, а) включает в себя корпус, камеру видеонаблюдения, световую плату и антивандальный кожух. Камера видеонаблюдения предназначена для наблюдения за состоянием бандажей крайних осей тяговой единицы и защищена от инородных объектов, таких как камни или мусор, с помощью антивандального кожуха. Система видеомониторинга мобильна, поскольку ее установка выполняется во время технического осмотра и не требует специального оборудования или креплений для тяговой единицы.

Конструкция опытного гребнесмазывателя 1 (см. рисунок 4, б) закреплена на буксе колеса 3 и установлена между рамой тележки 2 и корпусом подвижного состава. Он позволяет изменять угол подачи разработанного материала на гребень колеса собственным весом. Эта установка предназначена для проведения эксплуатационных исследований и оптимизации

процесса нанесения триботехнических материалов на гребень колеса подвижного состава с учетом различных методов смазывания. Создание научно обоснованных подходов на основе этой опытной установки поможет оптимизировать процесс смазывания гребней колес, используя технологии нанесения триботехнических материалов [19].

На основании обзора существующих современных способов снижения интенсивности изнашивания колес подвижного состава горных предприятий определено, что в настоящее время не существует универсального способа. Каждый способ эффективен при определенных условиях ремонта, обслуживания и эксплуатации. Однако использование нескольких способов на горных предприятиях при грамотном подходе может дать необходимый экономический и триботехнический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буйносков А. П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург: УрГУПС, 2011. 456 с.
2. Шибeko P. B., Захаров E. A. Система контроля колесных пар железнодорожных вагонов // Молодой ученый. 2014. № 18. С. 314–317. URL: <https://moluch.ru/archive/77/13293>
3. Балановский А. Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор. Часть 1) // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 12 (132). С. 18–30.
4. Балановский А. Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор. Часть 2) // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 1. С. 25–34.
5. Максимов И. Н. Разработка профиля колес для скоростных поездов и прогнозирование его эволюции в процессе взаимодействия подвижного состава и пути: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ВНИИЖТ, 2014. 29 с.
6. Богданов А. Ф., Будюкин А. М., Иванов И. А., Жуков Д. А., Урушев С. В. Улучшение свойств металла обода колесных пар тягового подвижного состава // Бюллетень результатов научных исследований. 2014. № 1 (10). С. 22–30.
7. Богданов В. М. Обеспечение устойчивой работы системы колесо–рельс на отечественных и зарубежных железных дорогах // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 2. С. 10–14.
8. Марков Д. П. Трибология и ее применение на железнодорожном транспорте // Труды ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2007. 408 с.
9. Герасимова А. А., Керопян А. М., Гиря А. М. Исследование системы колесо–рельс карьерных локомотивов в режиме тяги // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2018. № 1. С. 39–42. <https://doi.org/10.3103/S1052618818010065>

10. Елагина О. Ю., Гусев В. М., Буклаков А. Г., Гантимиров Б. М. Исследование износостойкости покрытий из плакированных порошков в условиях трения скольжения с граничной смазкой // Трение и износ. 2015. № 3 (36). С. 287–291. <https://doi.org/10.3103/S1068366615030046>
11. Ермаков С. Ф., Рыбаков А. А., Богданов А. Л., Константинов В. Г., Данишевский В. Н. Триботехнические характеристики композиционных пластичных смазочных материалов на основе дистиллятов вакуумных нефтяных и этаноламинов // Трение и износ. 2015. № 5. С. 561–568. <https://doi.org/10.3103/S1068366615050049>
12. Dumpala R., Chandran M., Rao M. S. R. Engineered CVD Diamond Coatings for Machining and Tribological Applications // JOM. 2015. Vol. 67, № 7. P. 1565–1577. <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1428-2>
13. Иващенко Е. П., Марченко А. Ю., Юдкин Б. Ю., Марченко М. Ю., Салтанов С. Н., Баринов И. М., Викулов Е. А. Оценка влияния температуры окружающей среды на ресурс деталей и узлов горных машин // Изв. УГГУ. 2015. № 3 (39). С. 39–41.
14. Евдокимов Ю. А., Браун Э. Д., Корнев В. И. Проблема триботехники на железнодорожном транспорте: методы решения // Вестник РГУПС. 2000. № 3. С. 19–21.
15. Kokhanovskii V. A., Glazunov D. V. Selection of lubricant composition for open contact systems in rolling stock // Russian Engineering Research. 2016. Vol. 36. № 6. P. 449–451. <http://dx.doi.org/10.3103/S1068798X16060113>
16. Шаповалов В. В. Проблемы транспортной триботехники: физико-математическое моделирование мобильных фрикционных систем // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2009. № 10. С. 3–11.
17. Кохановский В. А., Глазунов Д. В. Управление эксплуатационными показателями смазочного материала // Вестник машиностроения. 2017. № 6. С. 54–58.

ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Быков А.А., Калюкин П.А.

*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(ГФ НИТУ «МИСИС»)*

Аннотация. В статье рассматривается вопрос выполнения защиты направленного действия от однофазных замыканий на землю в распределительных сетях карьера горного предприятия. Во внимание принято то, что в системе электроснабжения карьера в эксплуатации еще находятся реле, реагирующие на величину тока замыкания без учета его направления. Такие защиты часто срабатывают ложно, что ведет к перерывам в электроснабжении приемников. Линия и оборудование, подключенное к ней, имеет две ступени земляной защиты. В связи с применением новых типов переключательных пунктов предлагается перейти к трех ступенчатой логике работы защиты от замыканий на землю.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю ОЗЗ; ток замыкания; реле защиты РЗ; трансформатор напряжения ТН; трансформатор тока нулевой последовательности ТНП.

PROTECTION AGAINST SINGLE-PHASE EARTH FAULTS IN NETWORKS WITH AN ISOLATED NEUTRAL

Bykov A.A., Kalyukin P.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. The article deals with the issue of performing directional protection against single-phase earth faults in the distribution networks of a mining enterprise quarry. It is taken into account that relays are still in operation in the power supply system of the quarry that react to the magnitude of the short-circuit current without taking into account its direction. Such protections are often triggered falsely, which leads to interruptions in the power supply of the receivers. The line and the equipment connected to it have two stages of earth protection. In connection with the use of new types of switching points, it is proposed to switch to a three-stage logic of earth fault protection.

Keywords: Single-phase earth fault OZZ; short-circuit current; protection relay RZ; voltage transformer TN; zero sequence current transformer TNP.

В системах электроснабжения горных предприятий наблюдаются частые повреждения элементов электрического оборудования и особенно распределительных кабельных и воздушных линий 6 кВ. Особо это проявляется в системах электроснабжения, питающих приемники на открытых горных работах. Это происходит из-за специфических условий работы оборудования в этих условиях. К таким условиям можно отнести наличие взрывных работ, постоянная перестройка сетей, низкое сопротивление рудного тела, наличие большого количества горной техники, большая разбросанность оборудования по рудному полю, наличие передвижающихся механизмов. Все это способствует появлению более частых повреждений кабельных и воздушных линий, а так же электрического силового оборудования.

В карьерных сетях из всех повреждений наиболее распространены однофазные замыкания на землю. Одно из наиболее распространенных повреждений - касание одной фазы поверхности земли или корпуса оборудования. Этот вид повреждений составляет более 60% всех аварийных ситуаций. Не будем здесь перечислять причины касаний одного провода земли или заземленного оборудования, но отметим, что защита от ОЗЗ должна действовать без выдержки по времени при отключении поврежденной линии, чтобы обеспечить безопасность и снизить разрушения. Однако существующие простые типы защиты от однофазных замыканий на землю часто работают ложно, что может привести к непредвиденным перерывам в электроснабжении некоторых потребителей.

При большой величине суммарной составляющей емкостного тока замыкания этот вид повреждений приносит большие разрушения. Как известно, изолированная нейтраль в системе электроснабжения используется по причине обеспечения безопасности персонала.

В таких сетях возникают значительные емкостные токи однофазного замыкания на землю, что приводит к серьезным повреждениям электрического оборудования. Последствия повреждений в такой сети могут быть неприятными: оборудование может быть повреждено, на неповрежденных фазах возникают перенапряжения, в сети возникают искажения, а также возникает опасность поражения персонала электрическим током.

Элемент сети с изолированной нейтралью и картина протекания емкостных токов показаны на рисунке 1.

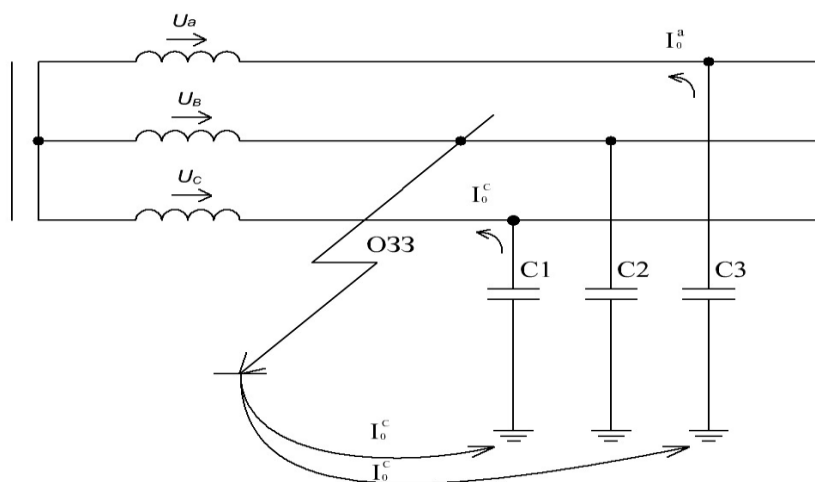


Рис. 1 – Схема сети с изолированной нейтралью

Для защиты от замыканий на землю, реагирующей только на величину емкостного тока, достаточно в ячейке подстанции, подающей энергию на линию, установить трансформатор тока нулевой последовательности и в его вторичную обмотку включить простое реле защиты. Это будет первая ступень защиты, а вторая ступень создается с помощью измерительного трансформатора напряжения, имеющего вторичную обмотку собранную открытым треугольником, на выход которой включается реле напряжения. Эта защита будет являться второй ступенью и реагирует она на величину напряжения нулевой последовательности.

Первая ступень защиты имеет выдержку времени $t = 0$ с с действием на отключение поврежденной линии, а вторая ступень согласно ПТЭ имеет выдержку времени $t = 0,5$ с, действующей на отключение вводного выключателя на секцию шин. Так выполнена логика работы земляной защиты в данное время в карьерных сетях распределения энергии

Предлагаем изменить логику работы защиты. Это можно осуществить благодаря тому, что в последние годы на горные предприятия поступают переключательные пункты, через которые от воздушных линий энергия подается на КТП 6/0,4 кВ, на буровые станки и экскаваторы. Новые переключательные пункты оборудованы вакуумными выключателями и устройствами релейной защиты. Источником оперативного тока в таких ячейках являются трансформаторы напряжения, мощности которых достаточно для устройств релейной защиты.

К радиальным и магистральным линиям в карьере в целях снижения простоев из-за отключения линии защитами рекомендуется подключать до трех приемников. При таком подходе, в случае повреждения на одном приемнике отключается линия, и питание теряют все приемники, создавая простой оборудования и, как следствие, снижение выпуска продукции.

Последовательность работы от однофазных замыканий в условиях применения нового оборудования в карьере следующая: при повреждении на приемнике, например, на буровом станке, который запитан от пункта подключения работает защита ОЗЗ с выдержкой времени $t = 0$ с. Это первая ступень работы защиты. Если работа этой ступени не успешна, то с выдержкой времени $t = 0,5$ с. работает устройство защиты линии на питающей подстанции. Это вторая ступень защиты от ОЗЗ. При отказе в действии защиты линии с выдержкой времени $t = 1$ с отключается вводной выключатель на секцию шин.

Внешний вид современного пункта подключения приемников в карьере показан на рисунке 2.



Рис. 2 – Пункт подключения приемников к линии электропередачи с комплектом релейной защиты

В качестве защит от ОЗЗ в первой и второй ступенях применяем реле направленного действия «ЗЕРО». Внешний вид реле показан на рисунке 3. Этот тип реле эксплуатируется уже более двадцати лет и хорошо себя зарекомендовало. Его технические характеристики мы не приводим, поскольку они даны в паспорте на это изделие. Отметим, что реле имеет функцию выполнения задержки в работе по времени. Это исключает необходимость установки реле времени, когда реле работает на вторых ступенях защиты. При двойных замыканиях на землю в линиях электропередачи реле выполняет функции быстро действующей максимальной токовой защиты.



Рис. 3 – Микропроцессорное реле защиты от однофазных замыканий на землю

В предлагаемой логике действия защиты третью ступень выполняем на питающей подстанции с применением реле напряжения, включенного в разомкнутый треугольник трансформатора напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник / В.А. Андреев. – М.: Высш.шк., 2006. – 639 с.: ил.
2. Алиев, И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учеб. пособ. / И.И. Алиев.- Ростов н/ Дон.: Феникс, 2004.– 480 с.
3. Плащанский, Л.А. Основы электроснабжения горных предприятий: учебник / Л.А. Плащанский. – М.: Издательство МГГУ, 2005.– 499 с.
4. Правила устройства электроустановок: справ. пособ./ М.: Энергоатомиздат, 2020. – 608 с.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТНОГО ХОЗЯЙСТВА

АО «КОМБИНАТ «КМАРУДА»

Климов В.Н., Самсонов А.С., Шляхов А.М.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), mr.klivik@mail.ru тел.: 89511542040

Аннотация. Данный доклад посвящен повышению эффективности работы ремонтного производства. Целью является обеспечения успешного решения задач управления надежностью ГШО (горно-шахтного оборудования). Для поддержания оборудования в работоспособном состоянии необходима достаточно развитая цепь ремонтных баз, обеспечивающая систематическое ТО, текущие и капитальные ремонты оборудования. Для повышения эффективности работы ремонтного производства на АО «Комбинат КМАруда» предлагается комплектовать ремонтные базы новейшим высокопроизводительным оборудованием отечественного производства и расширить технологические площади околоствольного ремонтного цеха. Благодаря предлагаемому проекту экономический эффект составит 2,59 млн. рублей.

Ключевые слова: ГШО (горно-шахтное оборудование); ремонтная база; околоствольное пространство; центральный и периферийный участки; подкатные гидравлические съёмники; гидравлические гайковерты; расточно-наплавочный комплекс; систему вывешивания.

IMPROVEMENT OF REPAIR FACILITIES AT THE «KMARUDA COMBINE»

Klimov V.N., Samsonov A.S, Shlyakhov A.M.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. This report is devoted to improving the efficiency of repair production. The goal is to ensure the successful solution of problems of reliability management of mining equipment. To maintain the equipment in working condition, a sufficiently developed chain of repair bases is necessary, providing systematic maintenance, current and capital repairs of equipment. To improve the efficiency of repair production at "KMAruda Combine", it is proposed to complete repair bases with the latest high-performance equipment of domestic production and expand the technological

areas of the near-barrel repair shop. Thanks to the proposed project, the economic effect will amount to 2.59 million rubles.

Keywords: Mining equipment; repair base; near-barrel space; central and peripheral sections; hydraulic pullers; hydraulic wrenches; boring and surfacing complex; hanging system.

Среди некоторых видов горно-шахтного оборудования (ГШО) доля машин с выработанным ресурсом уже превышает 50%. Эксплуатация техники в «предотказном» состоянии приводит к постоянному увеличению доли затрат на ее содержание в себестоимости добычи и переработки продукции горного производства. В настоящее время рост расходов на эксплуатацию и ремонт ГШО на горнодобывающих предприятиях опережает рост стоимости основной продукции. Если имеющаяся тенденция сохранится, то уже через 5–7 лет затраты на ремонт сравняются со стоимостью нового ГШО.

Актуальность проблемы повышения эффективности работы ремонтного производства с целью обеспечения успешного решения задач управления надежностью ГШО определяется действием целого комплекса факторов и тенденций, среди которых помимо старения техники следует выделить:

- напрямую связанное с уменьшением надежности горно-шахтного оборудования (ГШО) снижение уровня безопасности и эффективности его работы;
- определяемую изменением структуры промышленного производства тенденцию формирования преобладающей части производственных мощностей ремонтного производства на горных предприятиях
- прекращение функционирования существовавших ранее централизованных отраслевых ремонтных структур

Технология современного горного производства требует применения большого числа машин и механизмов, выполняющих самые различные функции. Для поддержания оборудования в работоспособном состоянии необходима достаточно развитая цепь ремонтных баз, обеспечивающая систематическое ТО, текущие и капитальные ремонты оборудования.

Ремонт оборудования на шахтах производится, как правило, в ремонтных цехах, расположенных на поверхности. В подземной разработке горных пород центральный ремонтный участок формируют в околоствольном пространстве. Периферийные пункты ремонта или сборки пневмоколесной и другой техники формируют на горизонтах. Все названные ремонтные участки должны быть укомплектованы ремонтным оборудованием, позволяющим выполнять ремонтные и восстановительные работы в объемах соответствующих категорий ремонтных участков (центрального или периферийного).

Для повышения эффективности работы ремонтного производства на АО «Комбинат КМАруда» предлагается комплектовать ремонтные базы новейшим высокопроизводительным оборудованием отечественного производства. Поступление новой техники, в том числе с большими габаритами призывают постоянному расширению технологических площадей околоствольного ремонтного цеха. В качестве типового проекта по устройству этого цеха можно предложить проект, приведенный на рис 1. Данный проект привлекателен тем, что имеет все основные технологические участки, которые необходимы для проведения всех категорий технических обслуживаний и плановых ремонтов кроме капитального.

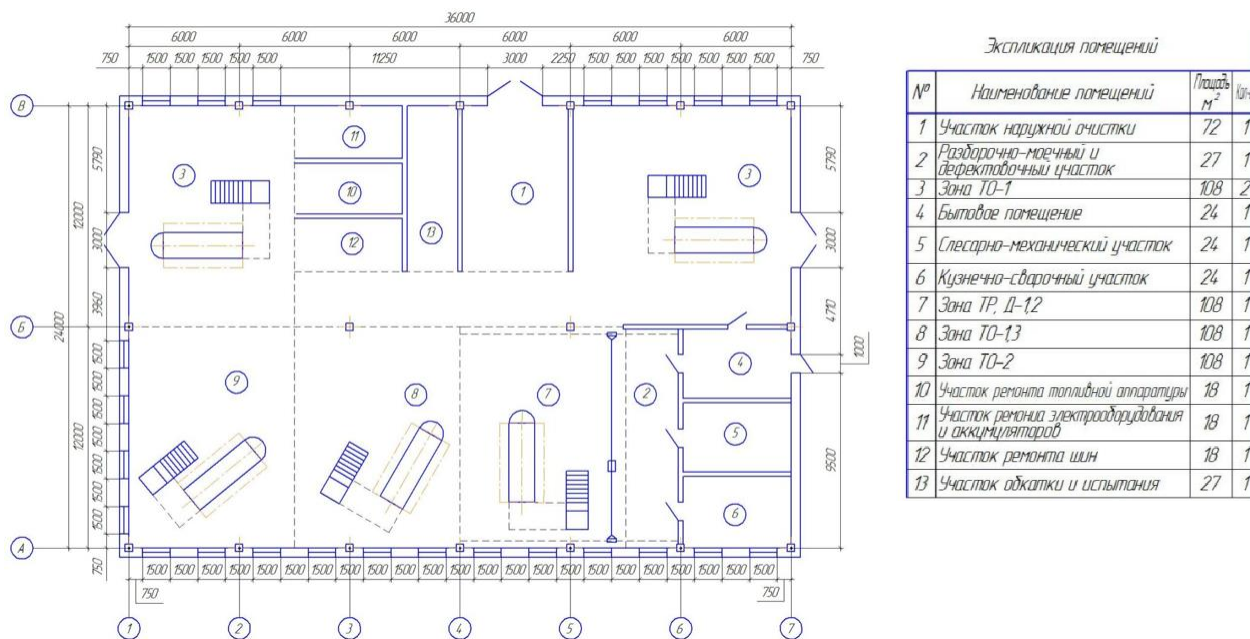


Рис. 1 – Типовой проект устройства околоствольного ремонтного цеха

Габаритные размеры и форма размещения рекомендуемой типовой схемы устройства ремонтного участка могут быть изменены исходя из условий шахты им. Губкина. Данная типовая схема привлекает внимание тем, что в ней содержатся необходимые участки для проведения дефектации машин и всех категорий технических обслуживаний и плановых ремонтов кроме капитального ремонта.

Таким образом, такую ремонтную структуру рационально наполнить дополнительным высокотехническим ремонтным оборудованием, к числу которых относятся: подкатные гидравлические съёмники СГТ/3501250, высокотехническая масляная станция с рукавами высокого давления (РВД) для формирования рабочих комплектов со съёмниками, гидравлическими гайковертами и другим гидравлическим инструментом, мобильные расточно-наплавочные комплексы, а также систему вывешивания для машин на колесном и

гусеничном ходу, которую предлагается внедрить в зоне разработки Стретенского направления шахты им. Губкина.

Выполним предположительный расчет экономической эффективности, взяв за основу эксплуатацию погрузочно-доставочной машины (ПДМ) до и после внедрения предложения (Табл.1).

Таблица 1 – Технико-экономические показатели ПДМ

Показатели	Базовый вариант	Новый вариант
1.Производительность машины за один час чистой работы, т/ч	27	35
2.Коэффициент использования рабочего времени	0,9	0,9
3.Производительность машины за один час работы, т/ч	24	31
4.Продолжительность работы машины в сутки, ч	18	18
5.Суточная производительность машины, т/сут	432	540
6.Число рабочих дней году		
а) нормативное, дней	305	305
б) фактическое, дней	289	257
7.Продолжительность работы машины в году:		
а) нормативное, ч	5490	5490
б) фактическое, ч	5490	4626
8.Годовая производительность машины, т/год	124848	138780
9.Потребное количество оборудования, шт	1	1
10.Амортизационные отчисления, млн. руб.	10,83	8,24
11.Приведенные затраты, руб	941,8	799,3
12.Экономическая эффективность, млн.руб		2,59

Таким образом, благодаря предлагаемому проекту годовая производительность ПДМ повысится на 10%, расходы уменьшаться на 24%. Экономический эффект от внедрения предложения составит **2,59 млн. рублей.**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт на съемник гидравлический подкатной URL: <https://kvtool.ru/download/Pasports/psp-tools-sg.pdf> (Дата обращения 17.11.2023)
2. Система вывешивания гусеничной и колесной техники URL: <https://nskmz.com/catalog/oborudovanie-dlya-remonta-i-obslyzhivaniya-karernoy-i-stroitelnoy-tekhniki/oborudovanie-dlya-podyema-i-vyveshivaniya-gusenichnoy-tekhnik/sistema-podyema-i-vyveshivaniya-gusenichnoy-tekhniki/> (Дата обращения 17.11.2023)
3. Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: справочник / А. И. Ящура. – М.: НЦ ЭНАС, 2006. – 365 с.
4. Колегаев Р.Н. Экономическая оценка качества и оптимизация системы ремонта машин. – М.: Машиностроение, 2011. 239 с.
5. Горные машины и оборудование подземных разработок: учебное пособие / А.А. Хорошок, В.В. Аксенов, Г.Д. Буялич; А.М. Цехин; В.Ю. Тимофеев; М.Ю. Блашук; Юргинский технологический институт. – Юрга: Типография ООО «Медиафера», 2015. – 104 с.

**УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ РЕМОНТОВ ГОРНЫХ МАШИН И
ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ МОБИЛЬНОГО
РАСТОЧНО-НАПЛАВОЧНОГО КОМПЛЕКСА**

Климов В.Н., Шляхов А.М., Самсонов А.С.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), mr.klivik@mail.ru тел.:89511542040

***Аннотация.** Данный доклад посвящен решению проблемы простоев горного оборудования на открытых горных работах АО «Лебединский ГОК». Задачей является поиск наиболее рациональных форм организации и проведения ремонтных работ. Для выполнения некоторых механических операций по восстановлению изношенных базовых поверхностей на карьерной горной технике непосредственно в полевых условиях, предложено внедрить мобильный расточно-наплавочный комплекс. В этом случае заметно сокращается время, необходимое на демонтаж вышедшего из строя изделия. Благодаря высокой надежности и долгому сроку службы расточно-наплавочного комплекса снизятся затраты на обслуживание и ремонт оборудования на 15% в год и увеличится производительность оборудования на 30% в год.*

Ключевые слова: ремонт; мобильное ремонтное оборудование; расточно-наплавочный комплекс; демонтаж.

**IMPROVING THE MECHANIZATION OF REPAIRS OF MINING MACHINERY AND
EQUIPMENT BY INTRODUCING A MOBILE BORING AND SURFACING COMPLEX**

Klimov V.N., Shlyakhov A.M., Samsonov A.S.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** This report is devoted to solving the problem of downtime of mining equipment at open-pit mining operations of Lebedinsky GOK JSC. The task is to find the most rational forms of organization and carrying out repair work. To perform some mechanical operations to restore worn-out base surfaces on quarry mining equipment directly in the field, it is proposed to introduce a mobile boring and surfacing complex. In this case, the time required to dismantle the failed product is significantly reduced. Due to the high reliability and long service life of the boring and surfacing*

complex, equipment maintenance and repair costs will decrease by 15% per year and equipment productivity will increase by 30% per year.

Keywords: repair; mobile repair equipment; boring and surfacing complex; dismantling.

Введение

Борьба за сокращение сроков простоя оборудования в ремонте требует от специалистов поиска наиболее рациональных форм организации и проведения ремонтных работ. При этом важное значение имеет степень участия в ремонтных процессах современного, высокопроизводительного ремонтного оборудования. С появлением в горных процессах высокопроизводительных, крупногабаритных горных машин в технологии ремонта актуальным становится метод проведения ремонта непосредственно в зоне работы оборудования. Это подразумевает использование при выполнении некоторых ремонтных операций мобильного, высокопроизводительного ремонтного оборудования, которое возможно переместить непосредственно к объекту, в рабочую зону. Такой подход не потребует демонтажа вышедших из строя узлов и деталей и перемещения их на борт месторождения для выполнения ремонтных операций непосредственно в ремонтных цехах.

1. Применение мобильного ремонтного оборудования

В последнее время тенденция перемещения, проверенного временем мобильного ремонтного оборудования непосредственно к объекту, требующего ремонта и находящегося в рабочей зоне, стало наиболее привлекательной технологией и широко используется на горных предприятиях, ориентирующих свое производство на современные вызовы. Одним из таких мобильных ремонтных комплексов является мобильная расточно-наплавочная установка, применение которой позволяет выполнить некоторые механические операции по восстановлению изношенных базовых поверхностей на карьерной и подземной горной технике непосредственно в полевых условиях. В этом случае заметно сокращается время, необходимое на демонтаж вышедшего из строя изделия, его транспортировка на борт карьера в центральные ремонтные подразделения и обратная транспортировка после восстановления.

2. Объекты ремонта мобильными установками

На открытых горных работах объектами ремонта мобильными расточно-наплавочными установками могут быть корпусные изделия – корпуса редукторов, стрелы экскаваторов, различные типы кронштейнов и другие конструкции горных машин и оборудования. В технологии подземных горных работ ремонт с применением мобильных расточно-наплавочных установок можно применить при восстановлении отверстий крепления ковша на погрузочно-доставочных машинах, при восстановлении базовых отверстий редукторов различного назначения и других конструкций горных машин и оборудования.

3. Преимущества мобильного расточно-наплавочного комплекса

За последнее время типы и технические характеристики расточно-наплавочных комплексов заметно усовершенствовались и к настоящему времени эти комплексы оснащаются качественными комплектами режущих, измерительных инструментов и наплавочными модулями. К основному преимуществу данных комплексов относят возможность выполнить за одну установку черновое растачивание изношенного отверстия, выполнение наплавки расточенного отверстия с припуском под последующую обработку и непосредственно выполнение чистовой расточной операции до получения размера согласно чертежу. Одна из наладок по восстановлению отверстия горного оборудования с применением мобильного расточно-наплавочного комплекса показана на рис. 1.



Рис. 1 – Мобильно-расточной комплекс в работе

Конструкции расточно-наплавочных комплексов позволяют выполнить ряд технологических операций по восстановлению изношенных поверхностей, к которым относятся операции расточки внутренних отверстий и проточка наружных поверхностей, наплавка внутренних и наружных поверхностей, сверление, нарезание резьбы метчиком, нарезание резьбы под стопорные кольца.

По роду проводимых на предприятии ремонтных операций существует возможность выбрать из модельного ряда необходимую модель, наиболее подходящую для условий ремонта собственного горного оборудования и машин.

4. Выбор мобильного оборудования

В модельном ряду расточно-наплавочных комплексов существуют изделия, производящиеся за рубежом, а также отечественные изделия, выпускаемые компанией РУССТАНКОМ (Екатеринбург). РУССТАНКОМ является дилером известной итальянской компании ELSA, которая предлагает пять типоразмеров мобильных расточно-наплавочных комплексов SUPERCOMBINATA с широкими техническими возможностями. При

предварительном анализе технических данных наиболее рациональными размерами для ремонта можно считать диапазон диаметров от \varnothing 62 мм до диаметра \varnothing 600 мм. На рис. 2 приводится общий вид расточно-наплавочного комплекса фирмы ELSA, известная во всем мире безупречным качеством своих изделий. Следует отметить, что отечественные комплексы (рис. 3) мало чем отличаются от приводимой на рис. 2 модели.



Рис. 2 – Общий вид мобильного расточно-наплавочного комплекса фирмы ELSA



Рис. 3 – Общий вид мобильного расточно-наплавочного комплекса компании
РУССТАНКОМ

К настоящему времени деловые отношения фирмы РУССТАНКОМ и SUPERCOMBINATA не прерываются и на отечественном рынке сохраняется возможность приобретения отечественного или импортного образца расточно-наплавочного комплекса.

На открытых горных работах АО «Лебединский ГОК» для транспортировки ремонтного оборудования, в том числе и расточно-наплавочных комплексов в рабочую зону работы горных машин и оборудования рационально использовать транспортное средство, используемое как базовое для размещения на нем целого ряда специального оборудования, в том числе для транспортировки ремонтного персонала.

Заключение. (Расчет экономического эффекта)

Предположим, что внедрение расточно-наплавочного комплекса увеличит производительность на 30%. Благодаря высокой надежности и долгому сроку службы расточно-наплавочного комплекса снизятся затраты на обслуживание и ремонт оборудования на 15% в год. Экономия от снижения себестоимости составит 12332 рублей.

Таблица 1 – Экономические показатели

Показатели	Базовый вариант	Новый вариант
1 Годовая программа, шт/год	1600	1600
2 Штучное время, мин	1,34	1,04
3 Снижение трудоемкости, %	22,39	
4 Количество оборудования, ед	1	1
5 Годовая производительность оборудования, шт/год	82825	107672,5
6 Коэффициент роста производительности оборудования	1,29	
7 Капитальные вложения в оборудование, руб	760000	646000
8 Технологическая себестоимость годового выпуска, руб/год	100105	87773
9 Экономия от снижения себестоимости, руб/год	12332	
10 Годовые приведенные затраты, руб/год	214105	184673
11 Годовой экономический эффект, руб/год	29432	

Итого, экономический эффект от внедрения расточно-наплавочного комплекса компании SUPERCOMBINATA составит: 29432 рублей в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мобильный расточно-наплавочный комплекс SUPERCOMBINATA URL: <https://supercombinata.ru/> (Дата обращения 15.11.2023)
2. В.Т. Полуянов Технологическая модернизация металлорежущих станков: –

Свердловск: Уральский рабочий, 1961, - 370 с.

3. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т. 1. - 8-е изд., перераб. и доп. /Под ред. И. Н. Жестковой. - М.: Машиностроение, 2001. - 920 с.

4. Бобровский А.В., Драчев О.И., Николаев С.В., Расторгуев Д.А., Схиртладзе А.Г., Коротков И.А., Шамов Н.П. Расчет и конструирование станочных приспособлений. Учебное пособие. - М.: Славянская школа, 2002. -190с.

**ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА (СТК)
ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА**

Козырев П.И., Прасолов А.В.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), cozirew.p@yandex.ru, 8-951-764-35-48

***Аннотация.** Для объектов с резкопеременной нагрузкой и имеющим в своем составе различные вентильные преобразователи (полупроводниковые выпрямители, реверсивные тиристорные и частотные преобразователи, инверторные преобразователи постоянного напряжения в переменное и т.п.), которые являются источниками высших гармоник наиболее эффективным способом компенсации реактивной мощности является статический тиристорный компенсатор (СТК). Главным преимуществом статических тиристорных компенсаторов является их большое быстродействие и значительное уменьшение изменения напряжения в течении продолжительного времени. Примером с таким типом нагрузки является тяговая подстанция ПС-122, обеспечивающая электроснабжение электрифицированного железнодорожного транспорта Лебединского ГОКа.*

Ключевые слова: активная мощность; реактивная мощность; статический тиристорный компенсатор (СТК); компенсация реактивной мощности, фильтрующий реактор; тиристорно-реакторная группа.

**THE USE OF A STATIC THYRISTOR COMPENSATOR (STC) TO COMPENSATE FOR
THE REACTIVE POWER OF ELECTRIFIED RAILWAY TRANSPORT OF
LEBEDINSKY GOK**

Kozyrev P.I., Prasolov A.V.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** For objects with a sharply alternating load and having in its composition various gate converters (semiconductor rectifiers, reversible thyristor and frequency converters, inverter DC-to-AC converters, etc.), which are sources of higher harmonics, the most effective way to compensate for reactive power is a static thyristor compensator (STC). The main advantage of static thyristor*

compensators is their high speed and a significant reduction in voltage changes over a long time. An example with this type of load is the traction substation PS-122, which provides electricity to the electrified railway transport of Lebedinsky GOK.

Keywords: active power; reactive power; static thyristor compensator (STC); reactive power compensation; filter reactor; thyristor-reactor group.

Как известно в цепях переменного тока присутствует активная мощность и реактивная. Предприятие платит электроснабжающей организации за полную мощность, которая определяется по, так называемому, треугольнику мощности. Активная мощность является полезной мощностью, поскольку она выполняет полезную работу (механическую с помощью различных электродвигателей), тепловую (с помощью нагревательных элементов), световую (с помощью различных светильников). Реактивная мощность не производит никакой энергии. Реактивная мощность отражает процессы колебания электромагнитного поля в электрической сети. Реактивная мощность не выполняет полезную работу, но она является источником электромагнитного поля, которое используется во многих электрических устройствах (электродвигатели, трансформаторы и др.) и без которой работа их невозможна. Поскольку реактивная мощность протекает в системе электроснабжения по линиям электропередач и через систему понижающих трансформаторов, то в них возникают дополнительные потери активной мощности, возникающие по причине циркуляции реактивной мощности в цепи. Кроме дополнительных потерь активной мощности, циркуляция реактивной мощности в электрической цепи приводит к снижению напряжения сети и к уменьшению пропускной способности линий электропередачи и силовых трансформаторов.

Поскольку на горнорудных предприятиях основными потребителями электроэнергии являются электродвигатели различных типов и трансформаторы, которые потребляют большое количество реактивной мощности (индуктивного характера), для компенсации ее избытка применяются различные способы в зависимости от типа нагрузки.

На Лебединском ГОКе для транспортировки железистых кварцитов из карьера на фабрику обогащения и твердой вскрыши на отвал применяется электрифицированный железнодорожный транспорт, работающий на переменном напряжении 10 кВ. Железнодорожный транспорт (электровозы) получают электропитание по контактными линиям с тяговой подстанции ПС – 122 110/10 кВ. На подстанции установлены два трансформатора, Фазы (В) обоих трансформаторов подключены к рельсам железнодорожного полотна, которые являются обратным проводом. Роль прямого провода выполняют фазы (А) и фазы (С), которые подключены к контактной сети. Таким образом на вход электровоза подается линейное напряжение 10 кВ через пантограф (фаза «А» или фаза «С») и рельс (фаза «В»).

По данным Энергоуправления нагрузка подстанции ПС – 122 имеет резкопеременный характер. Суточный график нагрузки представлен на Рис.1. Поскольку электрифицированный железнодорожный транспорт использует переменный ток, а для подачи в электропривод электровоза необходим постоянный ток, то для его преобразования применяются тиристорные выпрямители, которые являются источником высокочастотных гармоник (из-за нелинейности полупроводниковых приборов).

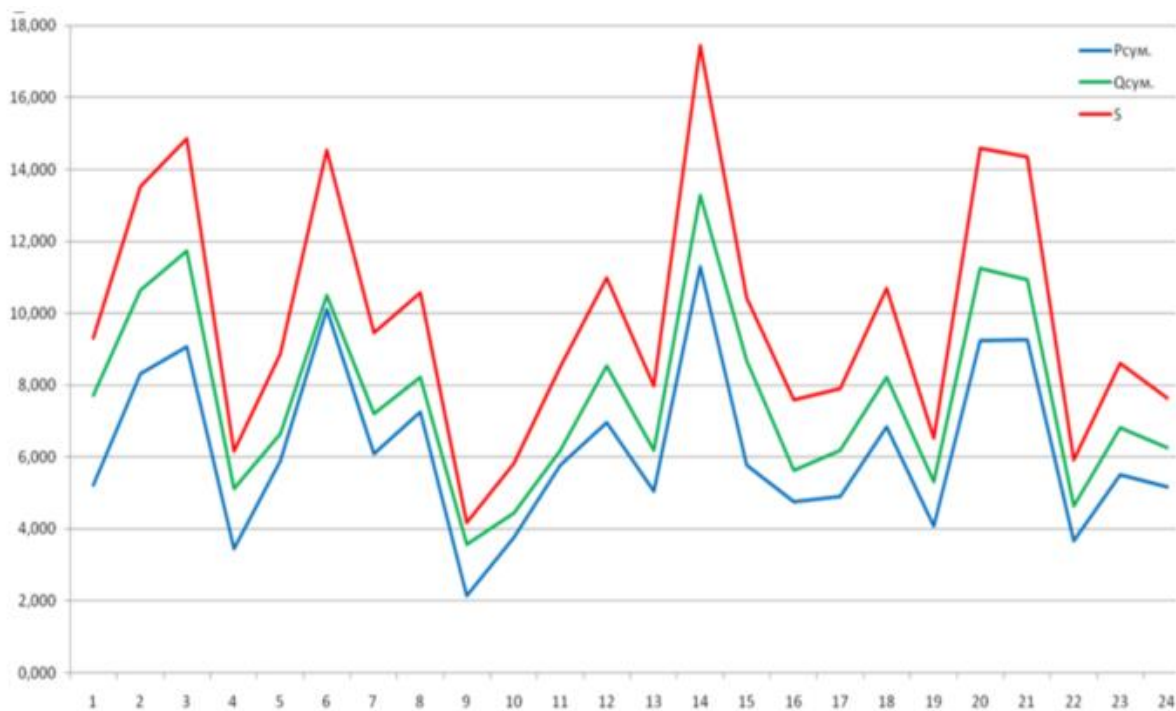


Рис. 1 – Суточный график нагрузки тяговой подстанции ПС – 122

В связи с применением на электрифицированном железнодорожном транспорте, работающем на переменном токе полупроводниковых выпрямителей, возникает большое количество реактивной мощности (индуктивного характера). Для компенсации реактивной мощности проектом на тяговой подстанции было предусмотрено применение конденсаторных батарей мощностью 8000 кВАр, которые подключены параллельно на фазы (АВ) и (ВС). Проектом также было предусмотрено установка фильтрующего реактора индуктивностью $L=11,7$ мГн. Однако при практическом применении такой схемы компенсации реактивной мощности выяснилось, что она неработоспособна. Основной причиной неработоспособности является повышенный нагрев конденсаторных батарей из-за резонансных явлений высших гармоник (в основном третьей гармоники, как наиболее мощной). Для устранения вышеперечисленных факторов для компенсации реактивной мощности на объектах электрифицированного железнодорожного транспорта, имеющего резкопеременную нагрузку и вентильные преобразователи, которые являются источниками высших гармоник,

предлагается применить статический тиристорный преобразователь (СТК). Главным преимуществом СТК, по сравнению с простым подключением батарей конденсаторов, является их большое быстродействие, значительное уменьшение изменения напряжения в течении продолжительного времени и исключение резонансных явлений при регулировании компенсации реактивной мощности. Функциональная схема статического тиристорного преобразователя представлена на Рис.2.

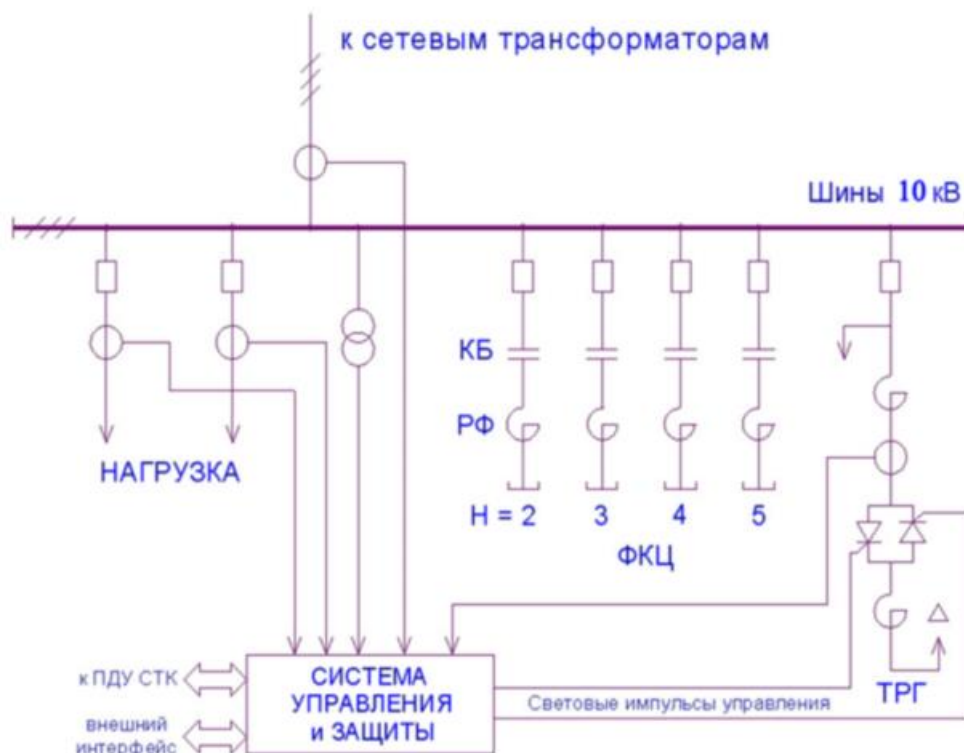


Рис. 2 – Функциональная схема статического тиристорного компенсатора реактивной мощности

Основными элементами статического тиристорного преобразователя являются:

- силовые резонансные фильтры, состоящие из конденсаторных батарей (КБ) и фильтрующих реакторов (РФ), настроенных для подавления высокочастотных гармоник. Набор резонансных фильтров основных высокочастотных гармоник образуют фильтрокомпенсирующую цепь (ФКЦ). ФКЦ кроме подавления высокочастотных гармоник еще и является источником реактивной мощности емкостного характера;

- тиристорно-реакторная группа (ТРГ), включенная параллельно ФКЦ и состоящая из управляемых встречно-параллельных тиристоров и реакторов. Данные реакторы являются плавнорегулируемым источником реактивной мощности индуктивного характера. Величина потребляемой реактивной мощности регулируется током в реакторе с помощью изменения угла открытия тиристоров в ТРГ. Такая схема регулирования позволяет быстро изменяться и

следить за быстроизменяющейся нагрузкой и эффективно производить компенсацию реактивной мощности.

- система управления и защиты позволяет быстро компенсировать реактивную мощность при резкопеременной нагрузке. Кроме того она обеспечивает контроль оборудования статического тиристорного преобразователя от перенапряжения и коротких замыканий в сети, а также сигнализацию отказов системы. Основным устройством тиристорно-реакторной группы является встречно параллельно включенные тиристорные вентили, с помощью которых регулируется ток реакторов и реактивная мощность индуктивного характера. Сам тиристорный вентиль состоит из отдельных модулей, включенных последовательно. Количество последовательных модулей определяется в зависимости от напряжения. В нашем случае напряжение равно 10 кВ. Каждый модуль встречно параллельных тиристорных управляется отдельно с помощью специальной ячейки. Управление ячейками тиристорных модулей осуществляется с помощью световых сигналов. Световые сигналы управления формируются в шкафах системы управления и защиты с помощью специальных полупроводниковых лазеров (низкий потенциал) и передаются на высокий потенциал тиристорного модуля. Здесь световой сигнал преобразуется в электрический, который потом подается на управляющий электрод тиристора для его открытия. Передача световых сигналов осуществляется по волоконно-оптическому кабелю, что обеспечивает высокую помехозащищенность информационного канала от электромагнитных помех. Кроме того такая схема обеспечивает разделение информационного канала микроконтроллера и силового канала тиристорного модуля.

Все управляющие сигналы выполняются в цифровой форме под действием специального программного обеспечения и различных алгоритмов управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.К. Паули, Р.А. Воротников Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии. Энергоэксперт. - 2007. - №2.
2. Ю. С. Железко Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в сетях: учеб. пособ./ Ю. С. железко.- М.: Энергоатомиздат, 2015, - 216 с.
3. А. В. Кабышев «Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий»: учебное пособие / А.В. Кабышев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.

4. В. И. Кочкин, О. П. Нечаев Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.- 248 с.
5. Статические компенсаторы реактивной мощности для линий электропередач и промышленности. (Электронный ресурс). Режим доступа: <http://www.ansaldovei.ru>.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ ДРЕНАЖНОЙ ШАХТЫ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА

Козырев П.И., Лесниченко С.С.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), cozirew.p@yandex.ru, 8-951-764-35-48

***Аннотация.** В существующей схеме проветривания дренажной шахты Лебединского ГОКа применяется способ регулирования производительности вентиляторов, нагнетающих воздух в шахту, с помощью изменения угла поворота лопаток рабочих колес вентилятора. Применение такого способа регулировки экономически не выгодно, так как значительное количество электроэнергии, потребляемой электроприводом, тратится на преодоление аэродинамического сопротивления вентилятора и сети. Предлагается применить регулирование производительности вентиляторов с помощью изменения скорости вращения вентилятора при максимальном угле поворота лопаток рабочего колеса, применяя частотно-регулируемый электропривод вентиляторов.*

Ключевые слова: Регулирование производительности вентиляторов; аэродинамическое сопротивление вентилятора; частотно-регулируемый электропривод; угол поворота лопаток рабочего колеса.

MODERNIZATION OF THE START-UP AND CONTROL CIRCUIT OF PUMP ELECTRIC MOTORS AT THE WATER SUPPLY FACILITIES OF THE LEBEDINSKY GOK

Kozyrev P.I., Lesnichenko S.S.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** In the existing ventilation scheme of the Lebedinsky GOK drainage mine, a method is used to regulate the performance of fans pumping air into the mine by changing the angle of rotation of the blades of the fan impellers. The use of such an adjustment method is not economically advantageous, since a significant amount of electricity consumed by the electric drive is spent on overcoming the aerodynamic resistance of the fan and the network. It is proposed to apply fan*

performance regulation by changing the fan speed at the maximum angle of rotation of the impeller blades, using a frequency-controlled electric fan drive.

Keywords: Fan performance control; aerodynamic resistance of the fan; frequency-controlled electric drive; angle of rotation of the impeller blades.

Проветривание дренажной шахты Лебединского ГОКа осуществляется главными вентиляционными установками (ГВУ), расположенными в здании на поверхности у стволов №4 и №5. Каждая установка укомплектована двумя однотипными вентиляторами ВОД-16П, один из которых рабочий, второй – резервный. Управление главными вентиляционными установками осуществляется дистанционно, с выносных пультов управления, расположенных в здании подъемных установок. Выбор вентиляторов главного проветривания производится на основании полученных расчетных значений производительности вентиляционных установок и общей депрессии. На основании этих данных выбран осевой вентилятор типа ВОД-16П. Данный тип вентилятора, двухступенчатый, характеризуется встречным вращением рабочих колес. Общий вид вентилятора ВОД-16П представлен на Рис.1.

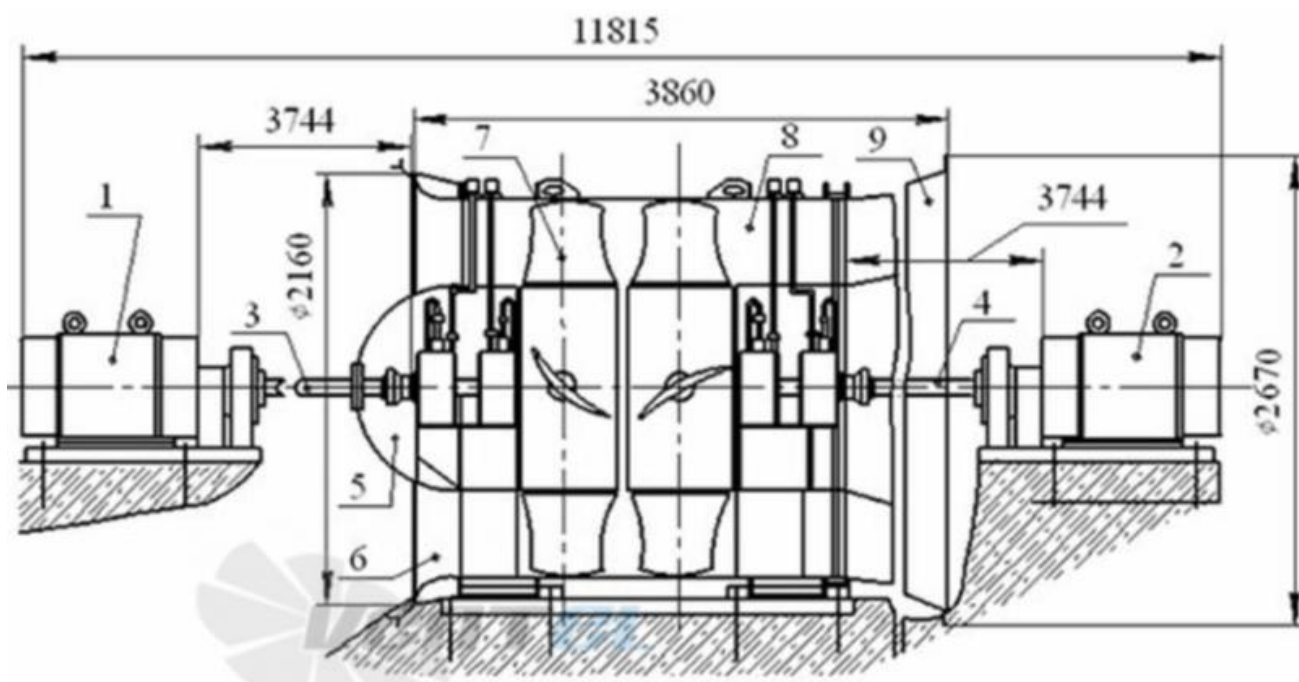


Рис. 1 – Общий вид вентилятора ВОД-16П.

В этом вентиляторе отсутствует направляющий и спрямляющий аппарат. Следствием такой особенности является отсутствие тонкой регулировки производительности. Грубая регулировка производится индивидуальным поворотом лопаток рабочих колес. Рабочие

колеса первой ступени и второй вращаются навстречу друг другу. Достоинством такого способа является упрощение конструкции вентилятора, выраженное в отсутствии направляющего и спрямляющего аппаратов и малой раскрутке воздушного потока за вторым рабочим колесом по ходу потока. Рабочие колеса первой и второй ступени разные, колесо первой ступени имеет 12 лопаток, а второй – 10. Углы установки лопаток на первом и втором рабочих колесах также разные. Электроприводом вентилятора служит асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, установленный на общей раме с тормозом. Рабочие колеса, вращаясь, перемещают воздушный поток внутри корпуса к диффузору. Диффузор служит для уменьшения скорости воздушного потока из вентилятора, преобразуя динамический поток в статический.

Аэродинамические характеристики вентилятора ВОД-16П главной вентиляционной установки проветривания представлены на Рис.2.

Анализируя существующую систему вентиляции дренажной шахты Лебединского ГОКа можно сделать заключение, что данная система обеспечивает подачу воздуха в шахту в полном объеме, но характеристики ее работы малоэффективны (работа в зоне с низким КПД).

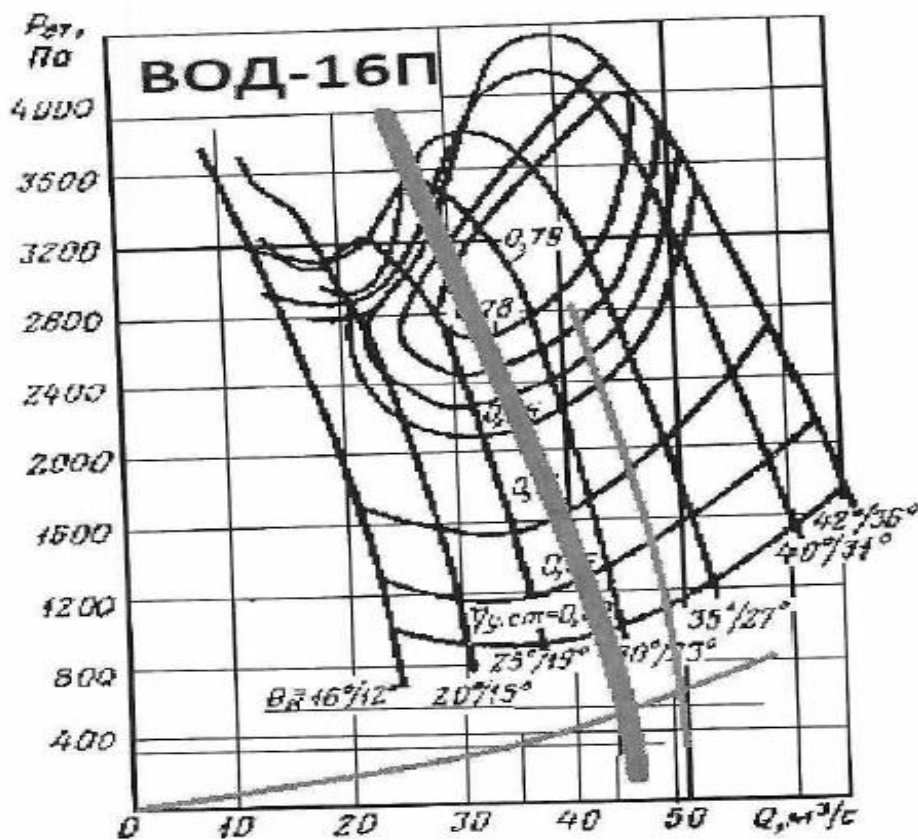


Рис. 2 – Аэродинамические характеристики вентилятора ВОД-16П и вентиляционной сети

Одним из способов существенно улучшить эффективность работы существующей системы вентиляции является применение частотно-регулируемого привода вентилятора ВОД-16П вместо нерегулируемого асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором. При этом электродвигатель остается тот же самый, только дополнительно добавляется частотный преобразователь, который позволяет регулировать частоту питающей сети и обороты электродвигателя и вентилятора. Регулирование производительности вентилятора с помощью изменения оборотов позволит уменьшить аэродинамическое сопротивление вентилятора при данной характеристике вентиляционной сети (углы установки лопаток рабочих колес устанавливаются в максимальное положение) и увеличить КПД установки.

Частотный преобразователь позволяет изменять частоту напряжения, подаваемую на статор асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, и таким образом регулировать его обороты. В настоящее время для регулируемых электроприводов переменного тока чаще всего применяется преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока. Структурная схема такого преобразователя представлена на Рис.3. На входе частотного преобразователя стоит выпрямитель переменного напряжения «В» (в данной схеме трехфазного напряжения) в постоянное напряжение.

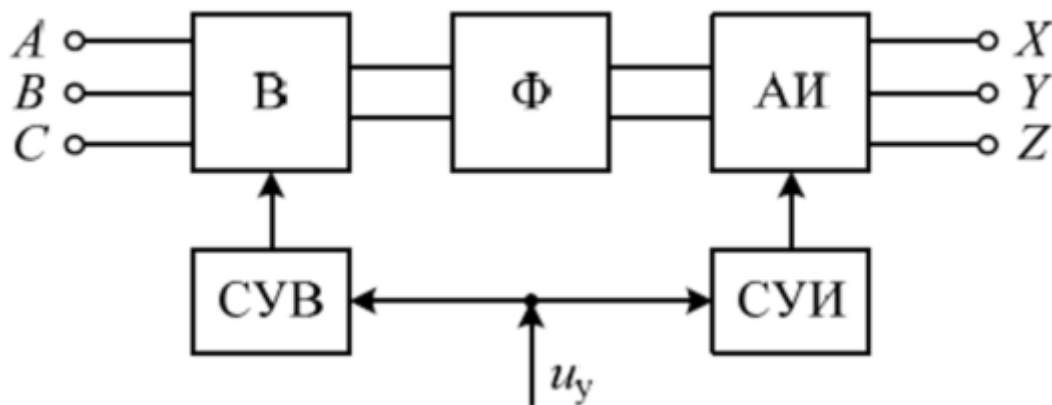


Рис. 3 – Структурная схема преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока

Выпрямитель в схеме частотного преобразователя чаще всего выполняется на нерегулируемых вентилях (диодах). В этих случаях регулировка амплитуды и частоты выходного напряжения преобразователя выполняется автономным инвертором напряжения «АИ» путем применения широтно-импульсной модуляции. Между выпрямителем и автономным инвертором стоит фильтр «Ф». Если используется автономный инвертор

напряжения, то в качестве фильтра будет конденсатор большой емкости. Основное назначение фильтра – это сглаживание пульсаций напряжения на выходе выпрямителя. Кроме основной функции фильтр обеспечивает циркуляцию реактивной энергии при торможении электродвигателя, так как при наличии неуправляемого выпрямителя на входе рекуперативное торможение не возможно (энергия торможения при этом не может передаваться в сеть из-за односторонней проводимости диодов).

Для получения на нагрузке напряжения переменной частоты синусоидальной формы применяется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). ШИМ позволяет осуществить с помощью последовательности импульсов высокой частоты (5 – 20 кГц) переменной длительности форму выходного напряжения приближенной к синусоидальной.

Так как электропривод вентилятора ВОД-16П использует небольшой диапазон регулирования и не требуется высокая точность регулирования, по этому целесообразно выбрать частотный преобразователь со скалярным методом управления. Кроме выбора метода управления необходимо учитывать мощность электродвигателя, которым будет управлять частотный преобразователь. Мощность частотного преобразователя должна быть не меньше мощности электродвигателя. В нашем случае мощность электродвигателей равна 160 кВт. Необходимо еще отметить, что скалярное управление позволяет управлять одновременно двумя электродвигателями (электродвигатели первой и второй ступени вентилятора ВОД-16П). На основании вышеизложенного выбран частотный преобразователь ESQ-500-4T1320G/1600R.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авербах И.А. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средства энергосбережения/ И. А. Авербах, Е. И. Барац, И. Я. Браславский и др. – Екатеринбург: 2002, - 128с.
2. Белов М. П., Новиков В. А., Рассулов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов– 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2004, - 576с.
3. Ивановский И. Г. Проектирование проветривания шахт и калориферных установок: Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2000. – 107 с.
4. Ивановский И. Г. Шахтные вентиляторы: Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. – 196 с. илл.86, таб.7.
5. Мещеряков Д. А. Вентиляция шахт: Изд-во Недра, 2009. – 189 с.
6. Онищенко Г. Б. Электрический привод: учебник для студ. высш. учеб. заведений – М.: Издательский центр «Академия», 2006, - 288с

7. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учеб. для студ. Высш. учеб. заведений: М.: Изд-во Академия, 2006. – 272с.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА

Козырев П.И., Сергеев И.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), cozirew.p@yandex.ru, 8-951-764-35-48, sergeev.igor1998@gmail.com

Аннотация. На компрессорной станции Лебединского ГОКа установлено 4 воздухонагнетающих агрегата. Регулирование подачи воздуха ведется ступенчато: изменением числа работающих агрегатов. Для плавного регулирования подачи воздуха этот метод дополняется дросселированием на стороне нагнетания (с помощью задвижек). В качестве привода применяются синхронные двигатели большой мощности. Проблема применения ступенчатого способа регулирования имеется потому, что в настоящее время используется прием прямого пуска электродвигателя компрессора, поскольку прямой пуск накладывает ограничения до 50 пусков в год. Применение устройства безударного пуска высоковольтных двигателей (УБПВД) дает возможность снять ограничения по числу пусков и эффективно использовать ступенчатый способ регулирования, что повышает энергосберегающий режим работы.

Ключевые слова: Воздухонагнетающий агрегат; синхронный двигатель; прямой пуск электродвигателя; ступенчатый способ регулирования; устройство безударного пуска высоковольтных двигателей.

IMPROVEMENT OF THE CONTROL SCHEME OF ELECTRIC MOTORS OF THE LEBEDINSKY GOK COMPRESSOR STATION

Kozyrev P.I., Sergeev I.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. There are 4 air-pumping units installed at the Lebedinsky GOK compressor station. Air supply regulation is carried out stepwise: by changing the number of operating units. For smooth regulation of the air supply, this method is supplemented by throttling on the discharge side (using valves). High-power synchronous motors are used as a drive. The problem of using a step-by-step control method exists because the direct start-up of the compressor motor is currently used, since

direct start-up imposes restrictions of up to 50 starts per year. The use of a shockless start device for high-voltage motors (UBPVD) makes it possible to remove restrictions on the number of starts and effectively use a step-by-step method of regulation, which increases the energy-saving mode of operation.

Keywords: Air-pumping unit; synchronous motor; direct start of electric motor; step-by-step method of regulation; device for shock-free start of high-voltage motors.

На крупных горных предприятиях, в том числе и на Лебединском ГОКе широко применяется сжатый воздух для привода пневматических инструментов, очистки стрелок на железной дороге, для пневмотранспорта, для прессового и формовочного оборудования. Основным технологическим объектом компрессорной станции является компрессорный цех (КЦ) с воздухомнагнетающими агрегатами (ВНА). В зависимости от пропускной способности пневмосистемы, вида и мощности ВНА в компрессорном цехе устанавливается от 3 до 10 ВНА работающих на один коллектор. На компрессорной станции Лебединского ГОКа установлено 4 ВНА. При снабжении воздухом предприятий с давлением (1,0 – 1,2) МПа рабочая производительность станции выбирается исходя из назначения, максимально длительной нагрузки предприятия и категоричности технологических процессов, обслуживаемых сжатым воздухом. Обычно на компрессорной станции устанавливают однотипные агрегаты, один из которых является резервным.

Режим работы компрессорной станции определяется графиком потребления сжатого воздуха на предприятии (на Рис.1 приведен примерный график потребления за сутки при непрерывном производственном цикле).

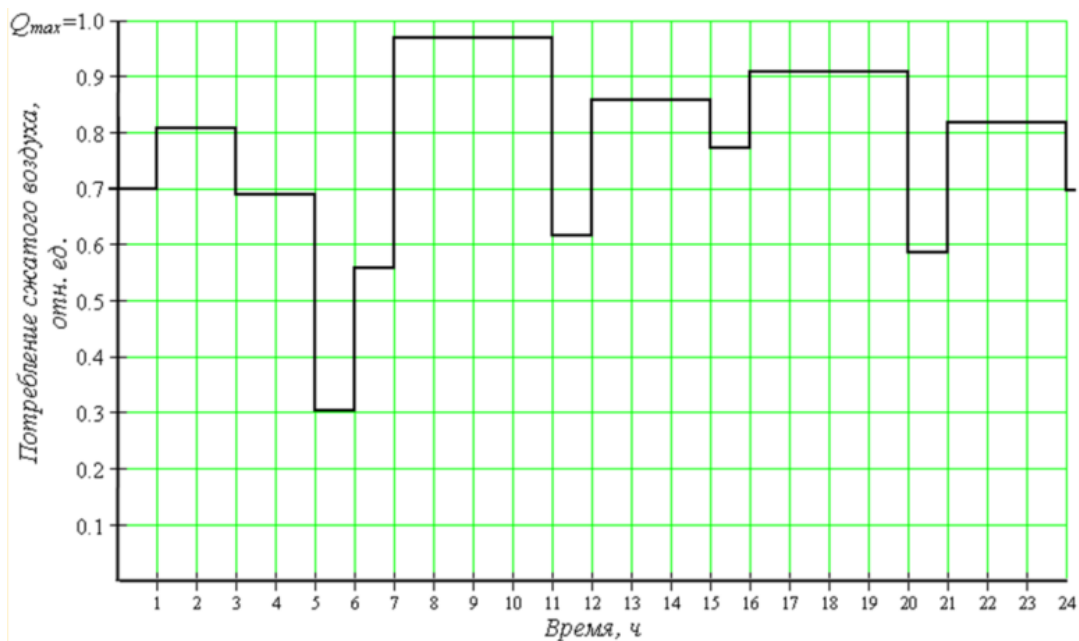


Рис.1 – График потребления сжатого воздуха за сутки

При сокращении потребления воздуха необходимо снижение его подачи во избежание излишнего повышения давления в трубопроводах. Поскольку на компрессорной станции установлено несколько работающих ВНА, то регулирование подачи ведется ступенчато: изменением числа работающих машин. Для плавного регулирования этот метод дополняется дросселированием на стороне нагнетания (с помощью задвижек).

На предприятиях нашей страны чаще всего используются два типа электроприводных воздушных нагнетательных агрегатов (ВНА): центробежные компрессоры и поршневые компрессоры. На Лебединском ГОКе используются центробежные компрессорные агрегаты для сжатия атмосферного воздуха.

В тоже время по причине конструктивной реализации центробежные компрессоры обладают и недостатками:

- сравнительно узкий диапазон устойчивой работы. Без применения специальных методов регулирования производительности, снижение ее до 60 – 80% от полной вызывает потерю устойчивости вещества, возникновение пульсаций давления, приводящих к периодическому движению потока в обратном направлении – от нагнетателя к всасыванию, т.е. к помпажу. Работа в режиме помпажа может привести к выходу компрессора из строя;

- нежелательность пусковых режимов даже при снижении нагрузок. Для большинства электродвигателей количество разрешенных прямых пусков в год не превышает 50, так как перегрузки значительно увеличивают износ механической и электрической частей.

Указанные недостатки негативно сказываются на энергосберегающих свойствах центробежных установок. Невозможность частых остановок и отсутствие возможности

регулируемости производительности компрессора в широком диапазоне приводит к тому, что в часы перерывов между сменами и нерабочие дни (около 30% времени в год), несмотря на низкие потребности в сжатом воздухе, энергопотребление остается на уровне 60% от номинального.

В качестве привода на компрессорной станции принят синхронный электродвигатель, который по сравнению с асинхронным двигателем позволяет заметно повысить энергетические показатели. При наличии синхронных электродвигателей можно обеспечить компенсацию реактивной мощности в оптимальном режиме за счет регулирования тока возбуждения.

При прямом пуске синхронных электродвигателей (как и асинхронных) пусковой ток превышает номинальный в 7 – 10 раз, что приводит к негативным явлениям как в механической так и в электрических частях изделия. Эту проблему можно решить с помощью устройства безударного (плавного) пуска электродвигателя. График потребления воздуха показан на Рис.1, и здесь видно, что в течении дня расход воздуха для потребителей комбината может уменьшаться до 30% от наибольшего его потребления. Но регулирование выдачи воздуха компрессорами методом дросселирования не дают возможность снизить их производительность меньше 60%. Избежать указанного недостатка можно благодаря применению ступенчатого регулирования, когда выполняется отключение некоторых агрегатов станции при снижении расхода в сети сжатого воздуха. Это позволит получить экономию электроэнергии примерно 55% в час от номинальной мощности электродвигателя каждого выведенного из работы компрессора.

Проблема применения ступенчатого способа регулирования имеется потому, что сейчас используется прием прямого пуска электродвигателя для привода компрессора, поскольку прямой пуск накладывает ограничение до 50 пусков в течении года. Увеличение количества прямых пусков двигателя вызывает увеличение износа механической части двигателя и компрессора.

Пользование устройством безударного пуска высоковольтных двигателей (УБПВД) дает возможность увеличить число запусков воздушных нагнетательных агрегатов (ВНА), благодаря отсутствию механических ударов, появляющихся при прямом пуске. Возникает возможность эффективного использования ступенчатого способа регулирования, что повышает энергосберегающий режим работы компрессорной станции в процессе ее эксплуатации. Кроме того использование УБПВД ликвидирует некоторые недостатки прямого включения от сети:

- наличие броска тока при включении, что вызывает большие усилия на проводники в лобовых частях статорной обмотки электродвигателя;

- ослаблению крепления обмотки, ослабляющего изоляцию вследствие ее истирания;
- отклонения напряжения в сети (просадка напряжения) из-за его падения на внутреннем сопротивлении источника питания и питающей линии электропередач при протекании значительных пусковых токов.

Отмеченные недостатки влияют на функционирование другого оборудования, получающего энергию от той же сети. Принципиальная схема включения электродвигателей с помощью УБПВД представлена на Рис.2. Логика взаимодействия по такой схеме входящих в нее элементов создает возможность включения по очереди четырех электродвигателей, находящихся на компрессорной станции Лебединского ГОКа. Кратко опишем назначение элементов схемы:

Символами Q1, Q2, Q3, Q4 обозначены высоковольтные выключатели, через которые по завершении плавного пуска электродвигателя он напрямую подключается к шинам 6 кВ распределительной подстанции. При такой логике работы тиристорное устройство УБПВД шунтируется, что дает возможность использовать устройство для запуска следующего электродвигателя.

Символами QF1 и QF2 обозначены коммутационные аппараты, подключающие устройство безударного пуска к шинам 6 кВ подстанции.

РВУ1 и РВУ2 это пусковые управляемые разъединители, с помощью, с помощью которых поочередно подключаются шины выходных устройств УБПВД.

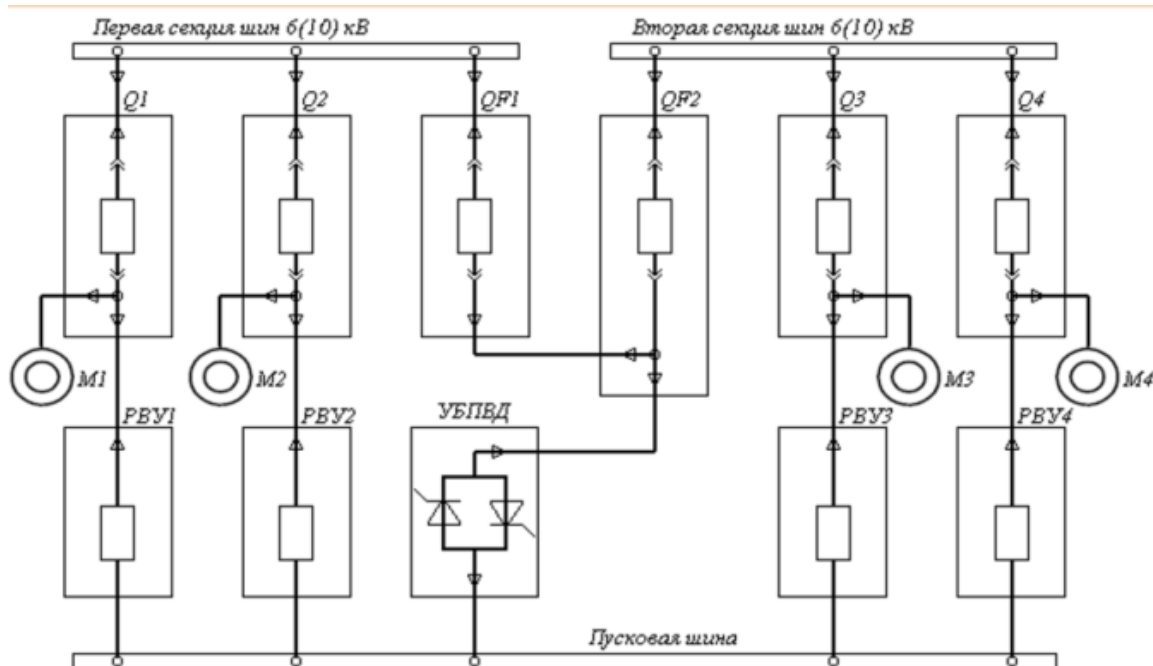


Рис. 2 – Схема подключения силовой части УБПВД

Высоковольтные ячейки распределительного устройства соединены кабелями со шкафом управления. По этим цепям из контроллера шкафа подают команды на включение и отключение нужных выключателей, а через блок контакты шкафов идет информация о положении этих аппаратов (включен он или отключен).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авербах И.А. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средство энергосбережения / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский – Екатеринбург: 2002.-128с.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 575 с.
3. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник для студ. высш. учеб. заведений /
Г.Б. Онищенко. 2-е изд. стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.
4. Озол П.Ж. Автоматизация компрессорных станций с электроприводными воздухонагнетающими агрегатами / П.Ж. Озол – Л.: Недра, 1991. 169 с.

УЧЕТ СТАТЕЙ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Королькова Л.Н.^{1,2}, Велеменчук С.Н.^{1,2}

¹ Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(ГФ НИТУ «МИСИС»)

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

klncayka@mail.ru, +7(915)5692604

velemenchuk.sn@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные статьи теплового баланса, оказывающие влияние на тепловой режим в горных выработках.

Ключевые слова: теплоприток; теплообмен; теплоперенос.

ACCOUNTING FOR HEAT BALANCE ITEMS IN MINING OPERATIONS

Korolkova L.N.^{1,2}, Velemenchuk S.N.^{1,2}

¹ Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

² Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

klncayka@mail.ru, +7(915)5692604

velemenchuk.sn@mail.ru

Abstract. The article discusses the main articles of the thermal balance that affect the thermal regime in mining.

Keywords: heat input; heat transfer; heat transfer.

Добыча полезных ископаемых производится в горных природно-технологических системах, таких как карьеры, шахты, рудники, скважины и различные подземные сооружения. Все эти системы участвуют в процессах теплообмена с окружающей средой, используемым в них оборудованием, земной корой. Условия развития процессов теплопереноса в горных системах отличаются некоторыми общими особенностями [1]:

– нестационарный характер теплообмена элементов инженерных сооружений с неограниченным или полуограниченным породным массивом при различных условиях на естественных или искусственных границах раздела сред и фронтах фазовых переходов;

– температурные поля в элементах таких систем и окружающем массиве формируются и непрерывно изменяются как результат сложного взаимодействия разных по природе источников энергии.

Вопросы теплообмена и работы теплового оборудования в горных системах позволяет рассмотреть раздел теплотехники, изучающий методы преобразования, передачи и использования теплоты, принципы действия и конструктивные особенности тепловых машин, аппаратов и устройств. Этот раздел рассматривает технологическое направление использования теплоты, основанное на ее применении в технологических процессах с помощью таких устройств, как теплообменники, приборы отопления, калориферы и т. п. Технологическое использование теплоты опирается на закономерности теории теплообмена.

Процессы теплопереноса играют важную роль в развитии явлений, происходящих в горных массивах под действием теплового поля. Процессы теплопереноса в верхних слоях земной коры определяют тепловой режим работы при подземной разработке полезных ископаемых (особенно глубинных горизонтов). В передаче тепла в массиве горных пород участвуют практически все виды теплообмена: теплопроводность, излучение и конвекция. [2]

Горные технологические системы располагаются в различных климатических поясах и, соответственно, характеризуются большим разбросом температур: низкие в условиях севера и высокие в южных регионах. Для обеспечения комфортных условий работы в подземных выработках необходимо поддерживать определенный тепловой режим. В основе разработки такого режима лежит тепловой баланс, позволяющий учитывать источники тепловыделения, имеющих в выработке, и их интенсивность. Рассмотрим основные источники тепловыделения. [3]

Тепловыделение при охлаждении горных пород массива в процессе движения по ним воздуха:

$$Q_{\text{охл}} = \alpha \cdot P_B \cdot L_B \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{вс}}), \quad (1)$$

где α – коэффициент теплообмена, Вт/(м·К);

P_B – периметр выработки, м;

L_B – длина выработок, м;

$t_{\text{п}}$ – температура пород массива на данной глубине, °С;

$t_{\text{вс}}$ – средняя температура воздуха по длине выработки, °С.

Тепловыделение местных источников:

– от электродвигателей горнопроходческого оборудования:

$$Q_{ЭД} = N_{П} \cdot K_3, \quad (2)$$

где $N_{П}$ – потребляемая мощность электродвигателей, Вт;

K_3 – коэффициент загрузки электродвигателей.

– от освещения:

$$Q_{ОСВ} = N_{СВ}, \quad (3)$$

где $N_{СВ}$ – мощность светильников, Вт.

– при подъеме и опускании груза лебедкой:

$$Q_{Л} = (1 - \mu_M) \cdot N_{Д} \cdot K_3 + N_{Д} \cdot K_3, \quad (4)$$

где μ_M – механический КПД лебедки;

$N_{Д}$ – установленная мощность электродвигателя лебедки, Вт;

K_3 – коэффициент загрузки электродвигателя.

– при работе трансформатора:

$$Q_{ТР} = N_T \cdot m_T, \quad (5)$$

где m_T – коэффициент тепловых потерь трансформатора;

N_T – мощность трансформатора, Вт.

– при работе механизмов с пневмодвигателем:

$$Q_{ПН} = \frac{G_{П} \cdot (C_2 \cdot P_2 \cdot v_2 - C_1 \cdot P_1 \cdot v_1)}{R}, \quad (6)$$

где $G_{П}$ – расход воздуха в пневмодвигателе, кг/с;

C_1 и C_2 – удельная теплоемкость сжатого и отработанного воздуха, Дж/(кг·К);

P_1 и P_2 – давление сжатого и отработанного воздуха, Па;

v_1 и v_2 – удельный объем сжатого и отработанного воздуха, м³/кг;

R – газовая постоянная.

– при работе людей:

$$Q_P = q_P \cdot n, \quad (7)$$

где q_P – количество тепла, выделяемое одним рабочим, Дж/с;

n – число рабочих.

– при сжатии и расширении воздуха, движущегося по вертикальным и наклонным горным выработкам:

$$Q_{СЖ} = 0,0023 \cdot G_B \cdot l_B \cdot \sin \varphi, \quad (8)$$

где G_B – расход воздуха, кг/с;

l_B – длина наклонной или вертикальной выработок, м;

φ – угол наклона выработки.

Тепловыделение при транспортировании полезного ископаемого:

$$Q_{TK} = C_{И} \cdot G_{И} \cdot L_{ТР} \cdot (t_{И} - t_{ВС}), \quad (9)$$

где $G_{И}$ – количество транспортируемого полезного ископаемого, кг/с;

$C_{И}$ – удельная теплоемкость транспортируемого полезного ископаемого, Дж/(кг·К);

$L_{ТР}$ – длина транспортера, м;

$t_{И}$ – начальная температура полезного ископаемого, °С.

Составление уравнения теплового баланса с использованием рассмотренных источников тепловыделений позволяет определить количество и температуру воздуха, необходимого для создания комфортных условий труда в подземных выработках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные проблемы науки и производства в области горного дела. / С.С. Андрейко – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010. – 338 с.
2. Примеры применения физических явлений в горном деле. / Л. Н. Лукашевич, О.В. Садырева, Л.К. Катанова. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 35 с.
3. Тепловой режим горных выработок. - https://studopedia.ru/1_95329_lektsiya-teplovoy-https://studopedia.ru/1_95329_lektsiya-teplovoy-rezhim-gornih-virabotok.htmlhttp://holod-ru.com/ (дата обращения 07.12.2023).

УДК: 331.453

АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ И ТРАВМАТИЗМА ПРИ РАБОТЕ С ГРУЗОПОДЪЕМНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ

Левина Т.А., Чуева В.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), levina1958@mail.ru, v423576809@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрена динамика производственного травматизма и аварийности, а также основные причины аварий и несчастных случаев, связанных с эксплуатацией подъемных сооружений.

Ключевые слова: грузоподъемные механизмы; безопасность; аварийность.

ANALYSIS OF ACCIDENTS AND INJURIES WHEN WORKING WITH LIFTING MECHANISMS

Levina T.A., Chueva V.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. The paper considers the dynamics of occupational injuries and accidents, as well as the main causes of accidents and accidents related to the operation of lifting structures.

Keywords: lifting mechanisms; safety; accident rate.

В современном производстве большую роль играют грузоподъемные и транспортирующие машины и механизмы, поскольку они используются для автоматизации и механизации основных технических процессов и вспомогательных работ. Подъемные сооружения стали частью технологического оборудования, и их влияние на технико-экономические показатели стало существенным.

В результате аварий и несчастных случаев на производстве миллионы человек ежегодно получают травмы, профзаболевания и гибнут, поэтому вопросы производственной безопасности и охраны труда имеют большое значение.

Источником повышенной опасности для людей рабочих профессий является строительная отрасль. В 2022 году около 10% трудоспособного населения страны занято в строительстве и производстве строительных конструкций и материалов. На сегодняшний день

строительная отрасль является одним из самым травмоопасным видом тяжелых работ, и, к сожалению, количество несчастных случаев на строительных площадках, включая подъемные механизмы, имеет тенденцию к увеличению.

В соответствии с Федеральным законом РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1] объекты, на которых используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы, относятся к опасным производственным объектам IV класса опасности (опасные производственные объекты низкой опасности, за исключением канатных дорог).

Такие объекты подлежат обязательной регистрации в государственном реестре опасных производственных объектов и постановке на учет в Ростехнадзоре. Также эти объекты не подлежат регулярным проверкам Ростехнадзора, поскольку относятся к производственным объектам низкой опасности. Но Ростехнадзор все же проводит расследование и учет аварий или несчастных случаев, которые произошли в результате использования грузоподъемных механизмов, поскольку данные объекты относятся к опасным производственным объектам.

На рисунке 1 представлена динамика аварийности по всем видам грузоподъемных механизмов в России за последний 9 лет [2].

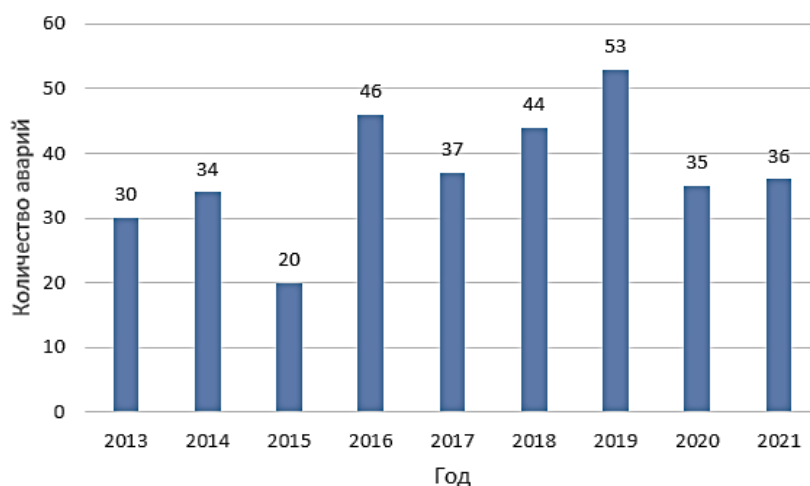


Рис. 1 – Динамика аварийности по всем видам грузоподъемных механизмов

Проанализировав динамику несчастных случаев, связанных с использованием подъемных механизмов, можно сделать вывод, что уровень аварийности по-прежнему высок.

Динамика производственного травматизма со смертельным исходом при работе с использованием грузоподъемных механизмов представлена на рис. 2.

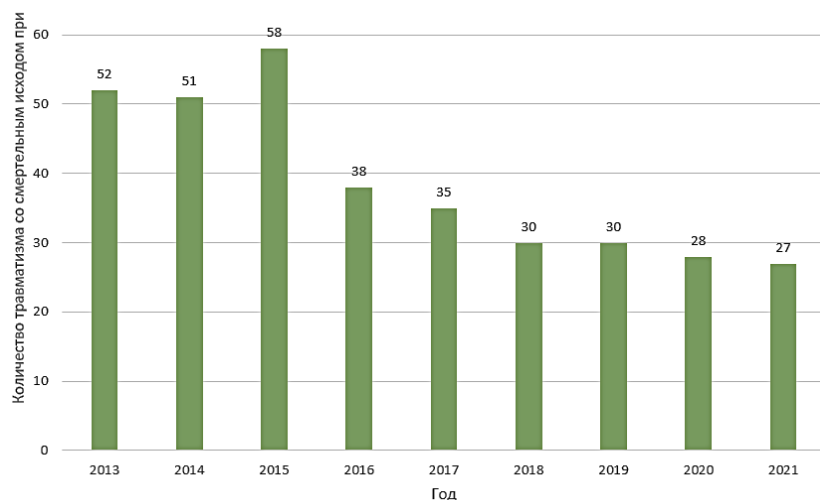


Рис. 2 – Динамика производственного травматизма со смертельным исходом при работе с грузоподъемными механизмами

Диаграмма, представленная на рис. 2, свидетельствует о снижении числа несчастных случаев со смертельным исходом при эксплуатации подъемных сооружений в период 2013–2021 гг. Так, в период с 2013 г. до 2015 г. ежегодно погибало более 50 человек, но уже в 2016 г. виден значительный спад, почти в 2 раза. Все последующие годы резких изменений не наблюдается.

На рисунке 3 представлены данные о числе погибших при эксплуатации грузоподъемных кранов за период с 2013 по 2021 гг. (по категориям работников).

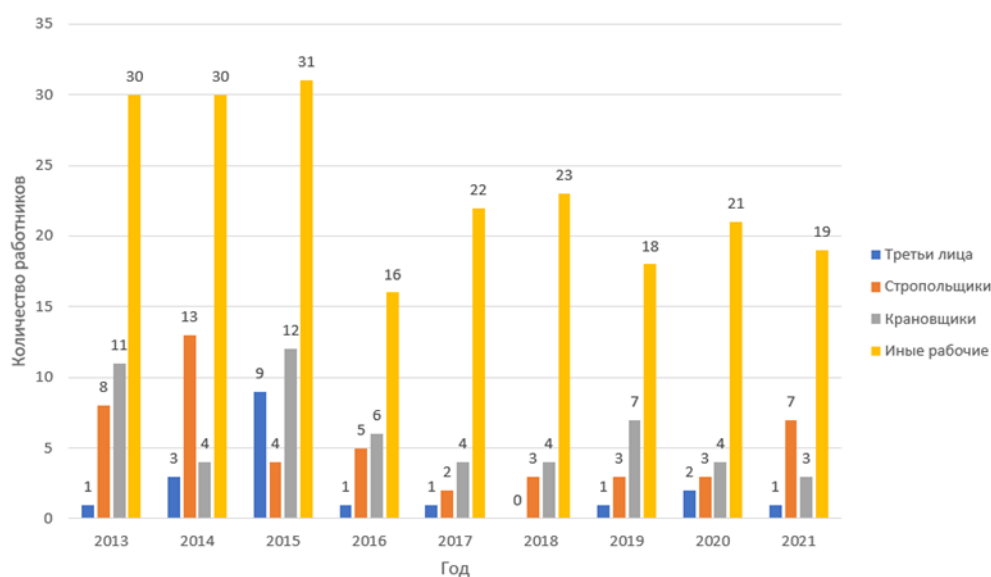


Рис. 3 – Данные о числе погибших при эксплуатации грузоподъемных кранов за период с 2013 по 2021 гг. (по категориям работников)

Статистика показывает, что в основном гибнут работники, непосредственно не связанные с работой грузоподъемных кранов – ремонтный персонал, бетонщики, плотники, каменщики, сварщики. Таким образом, небезопасная эксплуатация грузоподъемных кранов представляет прямую угрозу для всех работающих, находящихся рядом.

К техническим причинам аварий и несчастных случаев относится:

- некачественно изготовленное техническое устройство;
- неисправность приборов и устройств безопасности;
- неисправность технических устройств.

К организационным причинам аварий и несчастных случаев относятся факторы:

- привлечение к производству работ персонала, не имеющего необходимой квалификации;
- отсутствие на объекте проектов производства работ, правил производства работ, должностных и производственных инструкций;
- нарушение трудовой дисциплины и техники безопасности при эксплуатации подъемных сооружений;
- нарушение технологических режимов эксплуатации;
- несвоевременное проведение плановых осмотров, ремонтов и технических освидетельствований ПС.

К внешним причинам аварий и несчастных случаев относятся неблагоприятные метеорологические условия.

Одной из причин высокого уровня несчастных случаев и травм во время эксплуатации подъемного механизма является наличие большого количества оборудования, выработавшего свой расчетный ресурс.

Продолжительно эксплуатируемый кран – это износ металла, истончение металла вследствие трения или коррозии, износ гидравлических и пневматических систем кранов. Чем больше срок эксплуатации крана, тем выше вероятность несчастного случая в случае нарушения технического режима его эксплуатации. Количество циклов нагружения и срок службы крана устанавливаются его изготовителем и указаны в паспорте крана.

Ростехнадзор ведет учет средних показателей износа подъемных кранов. Информация о среднем износе подъемных кранов в период с 2013 по 2018 года приведена в таблице 1[3].

Таблица 1 – Средний износ кранов

Год	Технические устройства, ед.		Средний процент износа
	Общее количество	Отработавшие нормативный срок службы	
2013	243 952	162 047	66,4
2014	240 402	154 239	64,2
2015	242 231	149 331	61,6
2016	204 780	140 915	68,8
2017	200 113	139 838	69,9
2018	199784	139 256	69,7

Анализ таблицы 1, позволяет сделать вывод о том, что средний процент износа увеличивается из года в год, несмотря на то что наблюдается тенденция к сокращению количества технических устройств.

Если срок службы или количество циклов нагрузки крана, установленные изготовителем, истек, то, согласно п. 1 ст. 13 Федерального закона РФ от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», техническое устройство, применяемое на опасном производственном объекте, подлежит экспертизе промышленной безопасности (если техническим регламентом не установлена иная форма оценки соответствия указанного устройства обязательным требованиям) [1].

Несмотря на наличие множества предохранительных устройств, основными условиями обеспечения безопасной эксплуатации крана являются поведение машиниста во время работы, концентрация, четкость внимания и соблюдение установленных процедур и правил обращения с крановым оборудованием.

Выводы

По результатам анализа деятельности предприятий, эксплуатирующих стационарно установленные грузоподъемные механизмы и ПС, следует отметить, что для повышения уровня производственной безопасности необходимо своевременно заменять устаревшие технические устройства и средства контроля и автоматизации на новые и более совершенные образцы, отвечающие требованиям промышленной безопасности; повышать уровень подготовки и переподготовки специалистов, работающих с грузоподъемными механизмами; совершенствовать систему повышения культуры безопасности работников на каждом рабочем месте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон РФ от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ (в ред. от 07.03.2017) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс – надежная правовая поддержка. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/928be6671acc6babe6da54aec949a23259a65002/
2. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору: <https://gteaudit.ru/ezhegodnye-otchety-o-deyatelnosti>
3. Федеральная служба государственной статистики : офиц.сайт. – UR: <https://rosstat.gov.ru/>

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Сайдаминов И.А., Холов Т.Б.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), Телефон: +7(925) 664-52-75. E-mail: saydaminov@mail.ru

***Аннотация.** В статье приведен современное состояние и перспективы развития конструкций карьерных экскаваторов. Опыт эксплуатации карьерных экскаваторов и анализ данных ведущих проектных и конструкторских организаций СНГ показывают, что наиболее емкими потребителями карьерной техники, в ближайшее время, будут являться: карьеры черной и цветной металлургии; угольные разрезы; карьеры по добыче и переработке строительных материалов.*

Современное состояние технической эксплуатации карьерных экскаваторов не обеспечивает проектных технико - экономических показателей, вследствие высокой динамической нагруженности их рабочего оборудования.

Ключевые слова: карьерный экскаватор; конструкция; рабочая оборудования; производительность; эффективность; карьеры; вместимость ковша; горная промышленность полезных ископаемых.

THE CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF QUARRY EXCAVATOR STRUCTURES

Saidaminov I.A., Holov T.B.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The article presents the current state and prospects for the development of structures of quarry excavators. The experience of operating quarry excavators and analysis of data from leading design and engineering organizations in the CIS show that the most capacious consumers of quarry equipment in the near future will be: quarries of ferrous and non-ferrous metallurgy; coalmines; quarries for the extraction and processing of building materials. The current state of technical operation of quarry excavators does not provide design technical and economic indicators, due to the high dynamic load of their working equipment.*

Keywords: quarry excavator; construction; working equipment; productivity; efficiency; quarries; bucket capacity mining minerals.

Горнодобывающая промышленность России на современном этапе характеризуется дальнейшим развитием открытого способа разработки полезных ископаемых. Открытый способ добычи полезных ископаемых неоспоримо превалирует сегодня как в мировой горной промышленности, так и в России и республиках постсоветского пространства.

Технология выемки полезных ископаемых на современных карьерах и разрезах основана на применении вскрышных и добычных машин большой единичной мощности. Производительность этих машин постоянно наращивают путем увеличения конструктивных элементов без изменения их принципа работы.

Одним из главных признаков различия одноковшовых экскаваторов, определяющих их назначение и область применения, является рабочее оборудование. В зависимости от назначения рабочее оборудование одноковшовых экскаваторов имеет различную конструкцию и кинематику.

Известны четыре вида рабочего оборудования прямой напорной лопаты: прямая напорная лопата с выдвижной рукоятью (механическая лопата), колено - рычажная, рычажная типа «Суперфронт» и гидравлическая. На территории России и СНГ наиболее распространены напорные лопаты: механическая и гидравлическая [1].

У гидравлических экскаваторов, как и канатных механических лопат, прослеживается тенденция увеличения вместимости ковша, но создание крупных гидравлических экскаваторов ограничено рядом причин [2]:

- сравнимая с канатными машинами цена при меньшем в 2-3 раза сроке службы;
- высокая по сравнению с механическими лопатами себестоимость экскавации;
- невозможность селективной разработки тонких пластов;
- небольшая скорость перемещения по сравнению с меньшими типоразмерами.

Можно говорить о том, что мощные гидравлические экскаваторы при достижении условного порогового уровня вместимости ковша 20 м, теряют технологические преимущества по сравнению с механическими лопатами, а именно мобильность и возможность селективной выемки.

В 2000е годы гидравлические экскаваторы стали интенсивно поставляться на горные предприятия России и республик СНГ. К настоящему времени уже накоплен опыт эксплуатации этих машин в золотодобывающей, угольной, горнохимической и железорудной отраслях [3].

Однако гидравлические экскаваторы из-за меньшей длины стрелы и рукояти значительно уступают канатным мехлопатам по высоте обрабатываемого уступа.

Так, отработка взорванного 15 - метрового уступа, как показал многолетний опыт эксплуатации, успешно выполняется экскаваторами ЭКГ-10, ЭКГ-12, ЭКГ-15, а экскаваторами средней мощности и даже мошнами с ковшами более 20 м³ невозможна.

Очевидно, что параметры забоя и зона погрузки автосамосвала канатным экскаватором имеют большие размеры, чем гидравлически. То есть эксплуатация мехлопаты значительно безопаснее и требует меньше передвижек.

Важным критерием выбора выемочно - погрузочных машин становится срок ее эксплуатации. Электрический канатный экскаватор может находиться в работе 17- 20 лет и даже более с возможностью проведения фирмой - изготовителем модернизации.

В то время как эффективный срок эксплуатации гидравлических экскаваторов 6-7 лет. Поэтому, если срок отработки месторождения более 15 лет, то для объемов горных работ, выполненных одним канатным экскаватором за весь срок службы, гидравлических машин потребуются не менее двух. Это значительно увеличивает капитальные затраты на оборудование.

Следует отметить, что конструкция мехлопат более ремонтпригодна, не требует высокотехнологического обслуживания.

Одним из важнейших факторов, влияющих на стабильность и надежность работы экскаватора - это сложность климатических условий эксплуатации: высокие и низкие температуры с резкими перепадами, которые снижают эффективность работы гидропривода. При этом мехлопаты, имеющие более широкий температурный порог, продолжают работать в штатном режиме.

Также стоит учитывать, что канатные экскаваторы более экологичны в применении, так как при их работе отсутствуют вредные выхлопы как у дизельных двигателей, и не требуется утилизация больших объемов горюче - смазочных материалов, как для гидравлических машин.

Парк выемочно-погрузочных машин на карьерах и угольных разрезах России и СНГ насчитывает порядка 6100 единиц [4].

В России одним из ведущих производителей экскаваторной техники является компания ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова». Она имеет более чем 50- летний опыт производства карьерных экскаваторов. Основу парков добычной техники всех крупных горных предприятий России, Казахстана, Украины и Таджикистана составляют машины ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова». Это ЭКГ-8 И, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5, ЭКГ-15 и их

модификации. Производительность машин ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова» постоянно наращивают путем увеличения конструктивных элементов.

Сегодня стратегия компании направлена на разработку новой линейки экскаваторов с ковшами вместимостью 10-65 м.

Эффективность применения экскаваторов обеспечивается [2]:

- высокой производительностью за счет применения ковшей большей вместимости;
- снижением расхода запчастей и трудоемкости технического обслуживания за счет увеличения ресурса основных механизмов и металлоконструкций, применения автоматической системы централизованной смазки, современных канатов большей ходимости и других конструкторских новаций;
- применением современной системы приводов, снижающей энергопотребление;
- применением информационно - диагностической системы, обеспечивающей диагностику и защиту механического и электрического оборудования, учет основных технологических параметров экскавации;
- обеспечением комфортных условий труда экипажа за счет применения нового кабинного модуля;
- увеличением нормативного срока эксплуатации машины с 17 лет до 20 лет.

Выводы

1. Опыт эксплуатации карьерных экскаваторов и анализ данных ведущих проектных и конструкторских организаций СНГ (ООО «ИЗ-КАРТЭКС» им. П.Г. Коробкова) показывают, что наиболее емкими потребителями карьерной техники, в ближайшее время, будут являться:

- карьеры черной и цветной металлургии (800 млн м³/год горной массы);
- угольные разрезы (317 млн т/год горной массы);
- карьеры по добыче и переработке строительных материалов (2,5 млрд т/год горной массы).

2. Современное состояние технической эксплуатации карьерных экскаваторов не обеспечивает проектных технико - экономических показателей, вследствие высокой динамической нагруженности их рабочего оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В. Самолазов, Т.В. Донченко. Основные тенденции на рынке экскаваторного оборудования и новая линейка экскаваторов ООО «ИЗ-КАРТЭКС им П.Г. Коробкова» для горнодобывающей промышленности. //Горная промышленность. - 2011. - №4. - С. 6-10.А.В.

Самолазов, Н.И. Паладеева, А.А. Беликов Основные тенденции развития экскаваторно-автомобильных комплексов // Горное оборудование и электромеханика. - 2009. - №4. - С. 20-23.

2. А.В. Самолазов, Н.И. Паладеева, А.А. Беликов Основные тенденции развития экскаваторно-автомобильных комплексов // Горное оборудование и электромеханика. - 2009. - №4. - С. 20-23.

3. П.А. Шеметов, С.К. Рубцов, А.Г. Шлыков. Опыт эксплуатации гидравлических и канатных экскаваторов в карьере «Мурунтау». - М.: Горный журнал №10, 2006, с.67-71

4. А.В. Самолазов, Н.И. Паладеева, А.В. Юрковский. Развитие сервиса горного оборудования ОМЗ (Группа Уралмаш-Ижора) // Горное оборудование и электромеханика. 2011. - №1. - С. 47—49.

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НАГРУЗОК
В МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ И ОБЗОР МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В КОПАЮЩИХ МЕХАНИЗМАХ
КАРЬЕРНЫХ МЕХЛОПАТ**

Сайдаминов И.А., Головин Д.С.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), Телефон: +7(925) 664-52-75. E-mail: saydaminov@mail.ru

***Аннотация.** В статье приведены основные результаты исследований нагрузок в металлоконструкциях и обзор методов снижения динамических нагрузок в копающих механизмах карьерных мехлопат и основные пути повышения долговечности конструкции и эксплуатационной производительности экскаватора заключающийся, с одной стороны, в повышении качества подготовки горной массы к выемке, а с другой стороны, в улучшении динамических характеристик электромеханической системы копающих механизмов.*

Ключевые слова: экскаватор; конструкция; рабочая оборудования; производительность; коэффициент разрыхления; вместимость ковша; механизм; напор; подъем; нагрузка; усилия; полезных ископаемых.

**THE MAIN RESULTS OF RESEARCH ON LOADS IN METAL STRUCTURES AND A
REVIEW OF METHODS FOR REDUCING DYNAMIC LOADS IN DIGGING
MECHANISMS OF QUARRY MACHINES**

Saidaminov I.A., Golovin D.S.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The article presents the main results of research on loads in metal structures and an overview of methods for reducing dynamic loads in the digging mechanisms of quarry shovels and the main ways to increase the durability of the structure and operational productivity of the excavator, which, on the one hand, is to improve the quality of preparation of the rock mass for excavation, and on the other hand, to improve the dynamic characteristics of the electromechanical system of digging mechanisms.*

Keywords: excavator; construction; working equipment; productivity; loosening coefficient; bucket capacity; mechanism; pressure; lifting; loading; efforts; minerals.

Существующие способы ведения буровзрывных работ не могут обеспечить стабильного коэффициента разрыхления горной массы во всех частях развала породы. При различных формах и размерах развала в зависимости от рядности и наличия неподобранной части забоя (буфера) наблюдаются четыре основные зоны взорванного блока по его ширине [1], характеризующиеся различными значениями коэффициентов разрыхления - от 1,6 до 1,02.

Зачерпывание взорванной горной массы сопровождается периодическим обрушением породы из средней и верхней частей забоя. Обрушения, встречаемые на открытых разработках, условно разделяются на три типа [2] - одной волной, несколькими волнами, течением. Наиболее безопасны обрушения течением и несколькими волнами.

Таким образом, если в процессе зачерпывания ковш встречается негабаритный кусок или плохо взорванную часть забоя, происходит обрушение породы одной волной, то наблюдается резкое возрастание сопротивления движения ковша.

Импульсное нагружение ковша силами сопротивления движению приводит к возникновению в электромеханической системе копающих механизмов переходного процесса, во время которого реализуются собственные колебания элементов механизмов, затухающие в результате деформирования механизмов, электромагнитного демпфирования электропривода, демпфирования колебаний рабочего органа забоем.

Переходный процесс в электромеханической системе копающих механизмов возбуждается также при входе ковша в забой в начале черпания и при выходе ковша из забоя в конце черпания. Поэтому в переходных процессах проявляется основная динамичность работы механизмов, имеющая место при черпании крупнокусковой горной массы.

При внедрении ковша в осыпь с примерно одинаковой толщиной стружки из-за высокой дисперсии силы копания возможно возбуждение вынужденных колебаний в электромеханической системе как подъемного, так и напорного механизмов.

Если предположить, что распределение кусковатости горной массы вдоль траектории движения ковша соответствует паспорту гранулометрического состава, то частота столкновений ковша с более крупными кусками будет меньше частоты его столкновений с менее крупными кусками. В таком случае при постоянной глубине внедрения ковша в осыпь сила копания как эргодическая случайная функция времени может быть охарактеризована широкополосным спектром дисперсий, убывающим с ростом частоты. Поскольку реальный характер спектра силы копания для крупнокусковой горной массы изучен слабо, в дальнейшем, при анализе вынужденных колебаний в электромеханической системе механизма

подъема ковша, принята рабочая гипотеза о приближении спектра касательной к траектории движения ковша силы копания к равномерному спектру («белому шуму»).

Черпание крупнокусковой горной массы сопровождается интенсивным накоплением усталостных повреждений и разрушением проволок подвески верхней секции стрелы, листов и труб верхней и нижней секции стрелы, сварных швов рукояти.

Кроме того, резкие, скачкообразные возрастания моментов на барабанах лебедок при черпании ковшем взорванной горной массы приводят к потерям мощности электродвигателей в переходном процессе вследствие нарушения прямой пропорциональности между падением частоты вращения якорей двигателей и ростом электромагнитных моментов двигателей [1]. Последнее обстоятельство выражается в уменьшении коэффициента заполнения динамической характеристики двигателя по сравнению со статической и вызвано электромагнитной инерционностью якорной цепи. Частое повторение переходных процессов приводит к недоиспользованию установочной мощности электродвигателей и потерям производительности экскаватора.

Таким образом, основные пути повышения долговечности конструкции и эксплуатационной производительности экскаватора заключаются, с одной стороны, в повышении качества подготовки горной массы к выемке, а с другой стороны, в улучшении динамических характеристик электромеханической системы копающих механизмов.

Максимальные динамические усилия, действующие в механизмах подъема и напора при стопорении ковша в забое, определяются жесткостями упругих связей механизмов и накопленной кинетической энергией вращающихся масс лебедок.

Снижение максимальных динамических усилий в упругих связях механизмов может быть обеспечено; уменьшением момента инерции вращающихся частей лебедок; ограничением перехода кинетической энергии вращающихся масс лебедок в энергию деформации упругих связей с установкой в системах муфт предельного момента; снижение суммарных жесткостей упругих связей лебедок с рабочим органом; минимизация динамических явлений в рабочих режимах (переходные процессы и установившиеся вынужденные колебания) может быть обеспечена; сокращением времени протекания переходного процесса, что уменьшает количество накопленных за время процесса усталостных повреждений конструкции; снижением собственных частот наиболее энергонесущих форм колебаний, что снижает темп накопления усталостных повреждений конструкции; снижением коэффициентов усиления амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) усилий в упругих связях и их резонансных зонах, что снижает дисперсии напряжений на резонансных частотах и повышает долговечность металлоконструкции экскаватора.

Сокращение времени протекания переходного процесса и уменьшение коэффициентов усиления АЧХ усилий в упругих связях механизмов в резонансных зонах добиваются путем повышения уровня рассеяния энергии колебаний в избранных упругих связях механизмов.

Возможна коррекция жесткостей и коэффициентов демпфирования упругих связей механизмов с использованием резиновых, резинометаллических и резинотканевых амортизаторов. Резиновые и резинотканевые амортизаторы обладают высокими демпфирующими свойствами. К настоящему времени применение резиновых амортизаторов в конструкциях карьерных мехлопат ограничивается использованием их в качестве опор шкафов с электрооборудованием и светильников. Недостатками резиновых амортизаторов являются: низкая долговечность при экстремальных температурных воздействиях и контакте с горючесмазочными материалами, а также неудовлетворительный показатель удельной работы на единицу объема резинового упругого элемента [3,4,5].

Наиболее приемлемыми способами коррекции жесткостей и коэффициентов демпфирования упругих связей копающих механизмов в рамках основных сложившихся конструктивных решений этих механизмов является введение упругодемпфирующих устройств, содержащих амортизаторы с параллельно установленными упругим элементом и демпфером.

Широкое применение в рессорном подвешивании и устройстве автосцепки вагонов-самосвалов получили амортизаторы, в конструкции которых использованы витые цилиндрические пружины и демпферы сухого трения. Фрикционные поглощающие аппараты из устройства автосцепки вагона 2 ВС-105 были использованы для подрессоривания напорного блока в конструкциях экскаваторов ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5 и ЭКГ-15. Недостатками амортизаторов такого типа является быстрое изнашивание поверхностей трения корпуса и фрикционного клина, которое приводит к снижению уровня силы трения, а также то, что реализация достаточной силы трения имеет место только при прямом ходе фрикционного клина (при обратном ходе фрикционный клин сжимается и трение между клином и корпусом существенно снижается, т.е. не выполняется центральная симметрия характеристики клина).

Высокую эффективность гашения колебаний как крутильных привода ротора, так и вертикальных стрелы ротора обеспечило применение пневмогидравлических амортизаторов в подвесках хвостовиков редукторов приводов роторных колес экскаваторов ЭРГ-350/1000, ЭРГ-^00, ЭР -1250, СРс-2000 и СРс-2400 [6].

Введение пневмогидравлических амортизаторов в подвеску стрелы ротора экскаватора СРс-2400 существенно улучшило динамические характеристики верхнего строения экскаватора.

Напорный механизм большинства карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова» до известной степени защищен от динамических воздействий фрикционными поглощающими аппаратами (из устройства автосцепки вагона-самосвала 2ВС-105) используемыми в качестве дополнительной упругой связи между напорным блоком и рукоятью.

Трудности, связанные с компоновкой пневмогидравлических амортизаторов на элементах рабочего оборудования карьерных мехлопат, обусловлены неудовлетворительными показателями массы и габаритов при необходимых характеристиках жесткости и демпфирования. Эти обстоятельства могут быть преодолены путем выполнения пневмогидравлического УДУ с пневмошиной, воспринимающего силовое воздействие упругой связи или элемента механизма, и пакетов пневмогидравлических аккумуляторов, размещенных на поворотной платформе и принимающих воздух, вытесняемый из рабочих полостей шины по шлангам через дроссели.

1. Оценка технической производительности карьерных экскаваторов в настоящее время производится без учета динамических параметров рабочего оборудования карьерных экскаваторов, в то время, как процесс формирования сил сопротивления на их рабочем оборудовании является динамическим.

2. В работах [1,3,5,6,7] сформулированы общие теоретические методологические положения проблемы динамической нагруженности рабочего оборудования карьерных экскаваторов, которые предопределяют задачи ближайших исследований.

3. Во избежание значительных влияний динамической нагруженности рабочее оборудование необходимо оснастить упругодемпфирующими устройствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров: (ГОРНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ). Учебник для вузов. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.; Издательство МГГУ, 2007. - 680 с.; ил. «Машиностроение», 1979. -104 с.,ил.

2. Кох П.И. Надежность и долговечность одноковшовых экскаваторов. М.: Изд-во «Машиностроение», 1966, 136 с. с ил.

3. Беляков Ю.И. Совершенствование технологии выемочно-погрузочных работ на карьерах. М., «Недра», 1977. 295 с.

4. Супрун В.И. и др. Перспективная техника и технология для производства открытых горных работ. Учебное пособие, М.: МГГУ, 1996, 222 с ил.

5. Трофимов С.В. Определение рациональных параметров виброгасящего устройства для подвески стрелы рабочего органа роторного экскаватора. Канд. дисс., М., МГИ, 1980, 132 с. с ил.
6. Филимонов Н.А. Горные машины для открытых работ. - М.: изд-во «Недра», 1967,- 304 с.
7. Волков Д.П., Каминская Д.А. Динамика электромеханических систем экскаваторов. М.: «Машиностроение»,- 1971. - 405с.
8. Подэрни Р.Ю., Мухамедов М.Х. и др. Рабочее оборудование одноковшового экскаватора. Авт. свид. СССР 8П № 172031 А1. Бюл. из. №28, 1991.

ВЫЯВЛЕНИЕ ГРУБЫХ ПРОМАХОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Тарасенко Г.М., Бурлай Р.Р.

*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(ГФ НИТУ «МИСИС»)*

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм выявления грубых погрешностей (промахов) среди данных, полученных в ходе экспериментальных наблюдений.

Ключевые слова: эксперимент; грубые промахи; тестовая статистика; доверительная вероятность; статистические методы.

IDENTIFICATION OF EXPERIMENTAL DATA GROSS ERRORS

Tarasenko G.M., Burlai R.R.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. The article considers an algorithm for detecting gross errors among the data obtained during experimental observations.

Keywords: experiment; gross error; test statistics; confidence probability; statistical methods.

Сложность и уровень производства с каждым годом возрастают. Современный специалист должен не только обладать глубокими профессиональными теоретическими и практическими знаниями, но и иметь минимум знаний в области научных исследований. Традиционные методы исследований связаны с экспериментами, которые требуют больших затрат, сил и средств.

Эксперимент – это система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях. Эксперименты, как правило, являются многофакторными и связаны с оптимизацией качества материалов, отысканием оптимальных условий проведения технологических процессов, разработкой наиболее рациональных конструкций оборудования.

Данные, полученные при экспериментальных наблюдениях, обычно представляют собой случайные величины, связанные с ошибками измерений, также являющимися

случайными. Поэтому основными характеристиками наблюдаемых данных являются характеристики случайных величин.

Любые экспериментальные выводы делаются на основании конечного числа данных, которые называются, выборочной совокупностью или просто выборкой, в отличие от генеральной совокупности, включающей в себя всё существующее множество данных, как правило, никому не известное. Некоторые выводы о свойствах генеральной совокупности можно сделать по свойствам выборки на основе полученных экспериментальных данных.

Грубая погрешность, или промах, – это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд экспериментальных измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

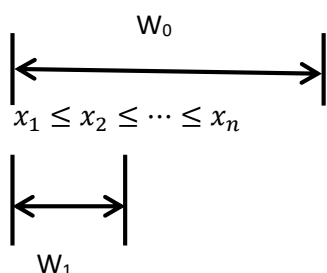
При однократных измерениях обнаружить промах невозможно. При многократных измерениях для обнаружения промахов используют статистические критерии. Вопрос о том, содержит ли данный результат наблюдений грубую погрешность, решается общими методами проверки статистических гипотез. Особенно остро ставится вопрос об устранении грубых погрешностей при обработке уже имеющегося материала, когда невозможно учесть все обстоятельства, при которых проводили измерения. В этом случае приходится прибегать к чисто статистическим методам.

Прежде, чем проводить любую обработку данных (начиная с вычисления среднего), следует выяснить, содержит ли она промахи, и если да, то исключить их из рассмотрения. Одним из способов выявления промахов служит статистический тест, называемый Q-тестом (Dixon's q-test).

Алгоритм Q-теста состоит в следующем.

Серию данных упорядочивают по возрастанию: $x_1 < x_2 < \dots < x_{n-1} < x_n$. В качестве возможного промаха рассматривают одно из крайних значений x_1 или x_n - то, которое дальше отстоит от соседнего значения, т.е. для которого больше разность $x_2 - x_1$ либо, соответственно, $x_n - x_{n-1}$. Обозначим эту разность как W_1 . Размах всей серии, т.е. разность между максимальным и минимальным значением $x_n - x_1$, обозначим W_0 .

Тестовой статистикой является отношение: $Q_{\text{тест}} = \frac{W_1}{W_0}$



Эта величина заключена в пределах от 0 до 1. Чем дальше отстоит "подозрительное" значение от основной массы данных, тем выше вероятность того, что это промах – и тем больше, в свою очередь, величина x .

Критической величиной служит табличное значение критерия Диксона, зависящее от доверительной вероятности и общего числа данных в серии. Если тестовая статистика превышает критическую величину ($Q_{\text{тест}} > Q_{\text{табл}}$), соответствующее значение считают промахом и из серии данных исключают. После этого следует проверить на наличие промахов оставшиеся данные, поскольку промах в серии может быть не один.

При применении Q-теста вместо стандартной доверительной вероятности, равной 0.95, обычно используют значение $P=0.90$. Наиболее достоверные результаты получаются при $n=5-7$. Для серий большего или меньшего размера Q-тест недостаточно надежен, поэтому следует использовать другие способы выявления и отбраковки промахов. Например, правило «трех сигм», критерий Романовского, критерий Ирвина, критерий Шовине, метод Башинского и другие.

Предположим, в результате проведенной серии экспериментов были получены следующие данные: 0.376, 0.398, 0.371, 0.366, 0.372 и 0.379. Проверим, содержит ли эта серия промахи?

Располагаем полученные результаты в порядке возрастания:

0.366	0.371	0.372	0.376	0.379	0.398
-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$0.371-0.366=0.005,$$

$$0.398-0.379=0.019,$$

поэтому кандидат в промахи - значение 0.398, а $W1=0.019$.

$$\text{Размах выборки } W0=0.398-0.366=0.032.$$

$$Q_{\text{тест}} = \frac{0.019}{0.032} = 0.59$$

Критическая величина $Q_{\text{табл}}$ ($P=0.90$, $n=6$) равна 0.56.

Таким образом, $Q_{\text{тест}} > Q_{\text{табл}}$, значение 0.398 - промах, его следует исключить.

Проверяем оставшуюся серию значений:

$$0.371-0.366=0.005,$$

$$0.379-0.376=0.003,$$

поэтому следующий кандидат в промахи - 0.366.

$$\text{Имеем: } W1=0.005, W0=0.379-0.366=0.013,$$

$$Q_{\text{тест}} = \frac{0.005}{0.013} = 0.38$$

$Q_{\text{табл}}$ ($P=0.90$, $n=5$) = 0.64; $Q_{\text{тест}} < Q_{\text{табл}}$, значение 0.366 промахом не является.

Обработка серии данных вместе с промахом была бы в этом случае грубой ошибкой и привела бы к серьезному искажению значений \bar{x} и $s(x)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шклярова Е. И. Обработка результатов многократных измерений. Критерии исключения грубых погрешностей : методические рекомендации — Москва : Московская государственная академия водного транспорта, 2011. — 17 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/46288.html>

2. Юдин Ю. В. Организация и математическое планирование эксперимента : учебное пособие / Ю. В. Юдин, М. В. Майсурадзе, Ф. В. Водолазский ; под редакцией А. А. Попова. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. — 124 с. — ISBN 978-5-7996-2486-6. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/106473.html>

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Терехин Е.П., Кусепова Д., Хворостянова В.И.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), teryekhin@mail.ru, тел: 89103697533

Аннотация. Прикладные исследования посвящены освоению техногенных месторождений из отвальных хвостов руд цветных металлов. Для переработки хвостов наиболее эффективными признаны флотационные методы обогащения, включающие операцию основной и контрольной флотации с несколькими перечистками. На примере проекта разработки виртуального хвостохранилища фабрики по производству медного концентрата доказана эффективность пневматических флотомашин компании Metso Outotec по технологии Concorde Cell Flotation в сравнении с традиционными пневмомеханическими ФПМ, которая подтверждается расчетом капитальных и текущих затрат.

Ключевые слова: техногенное месторождение; обогащение; флотация; пневмомеханические и пневматические флотомашинны.

TECHNOLOGY OF DEVELOPMENT OF TECHNOGENIC DEPOSITS OF NON-FERROUS METALS

Teryekhin E.P., Kusepova D., Khvorostyanova V.I.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. Applied research is devoted to the development of technogenic deposits from dump tailings of non-ferrous metal ores. For tailings processing, flotation enrichment methods are recognized as the most effective, including the operation of the main and control flotation with several cleanings. Using the example of a project for the development of a virtual tailings storage facility of a copper concentrate factory, the effectiveness of Metso Outotec pneumatic flotation machines using Concorde Cell Flotation technology in comparison with traditional pneumomechanical FPM aggregates has been proven, which is confirmed by the calculation of capital and current costs.

Keywords: technogenic deposit; enrichment; flotation; pneumomechanical and pneumatic flotation machines.

Существенной проблемой горно-перерабатывающей отрасли в последнее десятилетие считается уменьшение содержания полезных компонентов в исходной руде на фоне постоянно растущего спроса на металлы, особенно цветные, например, медь и никель. По причине снижения полезного минерала в разрабатываемых месторождениях предприятия начали активно наращивать усилия по оценке пригодности хвостов обогатительных фабрик, вскрышных пород, шлаков и других отходов производства для переработки [1].

Отходы обогащения существующих предприятий представляют интерес для повторной переработки, так как в большинстве случаев это уже дроблёный и фракционированный материал, не требующий проведения повторных операций дезинтеграции или классификации.

Но не все хвосты переработки могут являться сырьем, пригодным для дальнейшей переработки. Например, содержание полезных компонентов в хвостах сухой магнитной сепарации весьма низкое, а крупность частиц может достигать 70 мм. Хвосты операций мокрой магнитной сепарации, напротив, являются мелкодисперсными, однако слишком высокая стоимость извлечения делает их переработку нерентабельной.

Хвостохранилища обогатительных фабрик, перерабатывающие руды цветных металлов являются в этом плане перспективным источником техногенного сырья по количеству содержащихся в них полезных компонентов. Хвостохранилища Уральских предприятий, перерабатывающих руды цветных металлов, вмещают только отходов медно-цинкового производства порядка 1.5 млн. т с содержанием этих металлов в хвостах 0,37–0,39%.

Актуальность задачи освоения техногенных месторождений заключается не только в использовании дополнительных источников минерального сырья, но и в снижении негативных последствий накопления промышленных отходов для окружающей среды.

В настоящее время для обогащения медных, медно-цинковых, полиметаллических медно-свинцово-цинковых руд [2] большая часть предприятий использует флотационные методы обогащения (рис.1). Также флотация, как метод обогащения, применяется на отвальных и конвертерных шлаках медеплавильных заводов.



Рис. 1 – Схема коллективно – селективной флотации медно-пиритовых руд

Цель исследования: подбор флотационного оборудования для переработки отвальных хвостов руд цветных металлов. Решаемые задачи:

- оценить эффективность применения флотационного метода для обогащения отвальных хвостов;
- рассчитать схему цепей аппаратов для обогащения хвостов;
- подобрать существующее оборудование для флотации;
- произвести технико – экономическое сравнение вариантов с различными флотационными аппаратами.

В типовых схемах обогащения исходное питание поступает на операцию основной флотации, затем пенный продукт основной флотации поступает на операцию перечистки с дальнейшим получением конечной товарной продукции, а камерный продукт поступает на операцию контрольной флотации с получением хвостов. Количество операций перечистой и контрольной флотации зависит от содержания полезных компонентов в исходном сырье и требований, предъявляемых к концентрату и хвостам. На показатели процесса флотации также влияет продолжительность контактирования исходного сырья с реагентными растворами и сам реагентный режим [3]. Средние значения времени кондиционирования по традиционной технологии для сульфидных минералов составляют 10-25 минут.

Наиболее распространенной схемой для переработки отвальных хвостов руд цветных металлов является «прямая» схема флотации, согласно которой общий концентрат получают путем объединения пенного продукта всех камер, а хвосты удаляют из последней камеры.

Для обогащения руд цветных, редких и черных металлов, а также горно-химического сырья методом пенной флотации при содержании в пульпе твердого до 40% (по массе), крупности частиц менее 0,074 мм свыше 45% широко используются традиционные пневмомеханические флотационные машины (ФПМ), представленные на рисунке 2.

Камера машины ФПМ изготовлена в виде цилиндрической емкости с плоским дном. Элементы камеры, контактирующие с пульпой, покрыты антикоррозийным эпоксидно-акрилатным покрытием. Аэратор перемешивает пульпу во всем объеме камеры, диспергируя нагнетаемый для процесса воздух.

За рубежом применяются более эффективные пневматические аппараты без вращательного привода – флотоколонны [4-6]. Современная пневматическая флотомашинa компании Metso Outotec по технологии Concorde Cell Flotation (рис.3) состоит из чана с пенным желобом, внутри которого установлены нагнетательные трубы. Исходное питание пульпы под давлением подается в верхнюю часть каждой нагнетательной трубы и затем попадает в искусственную зону сужения, куда также подается воздух под давлением. Это обеспечивает хорошее смешивание пульпы с пузырьками воздуха, что формирует трехфазную смесь, которая далее направляется в нижнюю часть нагнетательной трубы. Данный процесс, можно считать первым этапом активного контакта минеральных частиц с пузырьками воздуха.

Далее эта смесь проходит еще одну зону сужения, представленную трубой Вентури, что способствует формированию тонкодисперсных пузырьков воздуха.

После нагнетательной трубы трехфазная смесь попадает в турбулентную зону отражающей чаши, в которой происходит насыщение частиц необходимым количеством энергии, для преодоления водного слоя с пузырьками воздуха и закрепления на них. Далее протекает стандартный процесс флотации.

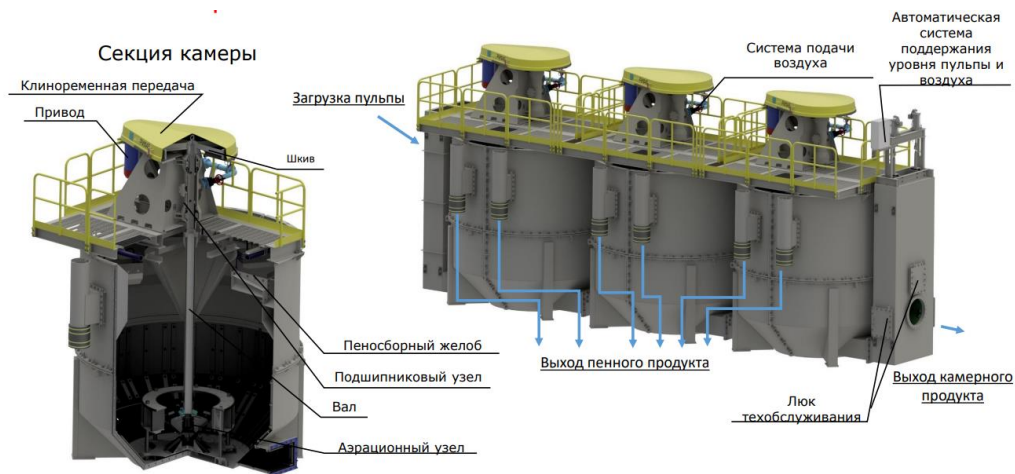


Рис. 2 – Пневмомеханические флотационные машины (ФПМ)

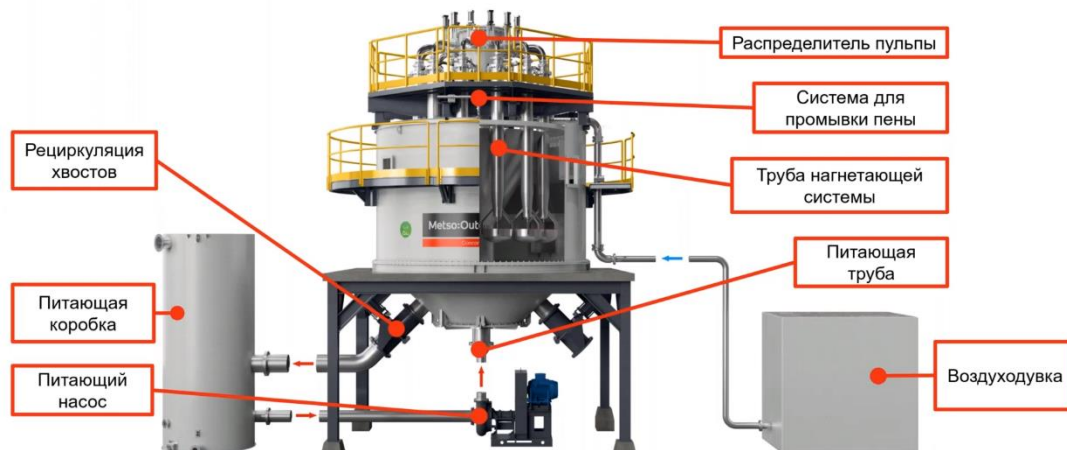


Рис. 3 – Пневматическая флотомашина компании Metso Outotec по технологии Concorde Cell Flotation

Запатентованная технология Concorde Cell Flotation позволяет эффективно извлекать ультратонкие частицы для ранее забалансовых руд за счет повышения степени контакта частиц с диспергированными пузырьками воздуха для увеличения скорости флотации [7].

Применяя метод технико-экономического сравнения вариантов можно определить эффективность использования флотооборудования для переработки техногенных месторождений [8], предварительно проведя технологический расчет, расчет качественно-количественной и водошламовой схем.

В качестве техногенного месторождения примем виртуальное хвостохранилище фабрики по производству медного концентрата с показателями из открытых источников:

- содержание в измельченной руде класса $-0,074$ мм – 60 %;
- содержание Cu в руде – 1 %, в концентрате – 20 %, в хвостах – 0,1 %
- рудный минерал – халькопирит (CuFeS_2), борнит (Cu_5FeS_4);

- собирательный флотореагент – ксантогенат;
- производительность линии флотации по сырью – 6 млн. т/год.

Для расчета параметров цеха с пневмомеханическими флотационными машинами (ФМП) принимается типовая технологическая схема флотации с двумя контрольными флотациями и тремя перечистками. После проведения расчета качественно-количественной и водошламовой схем определяется количество флотомашин ФМП (рис. 4).

Наименование операции	Производительность по пульпе, м ³ /ч	Тип машины	Объем камеры, м ³	Кол-тво
Основная флотация	4800	ФМП	100	10
Контрольная флотация I	4300	ФМП	100	6
Контрольная флотация II	3600	ФМП	100	5
Перечистная флотация I	1800	ФМП	50	6
Перечистная флотация II	800	ФМП	16	8
Перечистная флотация III	200	ФМП	10	5

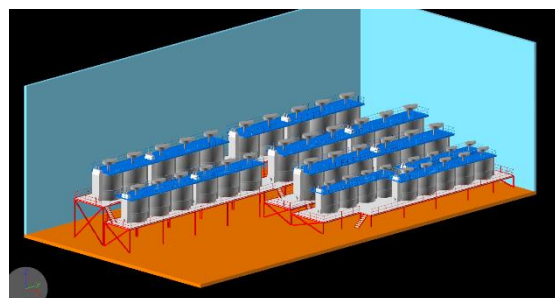


Рис. 4 – Результаты расчета по I варианту и 3D модель цеха флотации

Для оценки строительного объема была создана 3D модель цеха флотации в программе Navisworks manage(рис. 4). Строительный объем производственной площадки составит 9920 м³.

Более эффективная и производительная технология Concorde Cell Flotation сокращает количество операций и сводит их к основной флотации с одной перечистойной и одной контрольной. Производительность машин данного типа зависит от типовой пропускной способности труб нагнетающей системы и их количества. Нагнетательная система одной флотомашины может состоять из 12 труб пропускной способностью до 85 м³/ч каждая с содержанием твердого до 25%. Производительность флотомашин с нагнетательными трубами может достигать до 3000 м³/ч, без учета рециркуляции хвостов. Строительный объем отделения с новыми флотомашинами составит 3560 м³ согласно 3D модели (рис.5).

Наименование операции	Производительность по пульпе, м ³ /ч	Тип машины	Объем камеры, м ³	Кол-во
Основная флотация	4800	Metso	100	3
		Outotec		
Контрольная флотация	4300	ФМП	100	6
Перечистная флотация	1800	Metso	100	2
		Outotec		

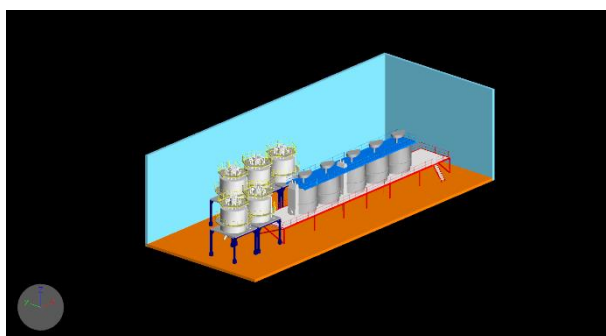


Рис. 5 – Результаты расчета по II варианту и 3D модель цеха флотации

Технико-экономическое сравнение вариантов основывается на предположении одинаковой производительности цехов по I и II вариантам при различных капитальных и текущих затратах, которые сведены в таблицу 1. Из-за нестабильности цен и курса валют расчеты произведены в условных единицах.

Таблица 1 – Экономические показатели виртуального проекта

Показатель	ФМП	Metso Outotec
Стоимость строительных работ	902 142	323 753
Стоимость основного оборудования	646 418	1 103 540
Амортизационные отчисления	96 963	155 031
Стоимость электроэнергии	3 598 764	210 607
Расходы на содержание и эксплуатацию	45 250	72 348
Фонд заработной платы	93 528	93 528
Итого	5 289 537	1 888 808
Экономический эффект	3 400 729	

В результате исследования технологий для переработки отвальных хвостов руд цветных металлов в настоящее время наиболее эффективными признаны флотационные методы обогащения.

Пневматические флотомашины компании Metso Outotec по технологии Concorde Cell Flotation позволяют эффективно и производительно извлекать ультратонкие частицы из хвостов обогащения в сравнении с традиционными ФМП.

Ориентировочный годовой экономический эффект от реализации виртуального проекта по строительству цеха с флотомашинами Metso Outotec технологии Concorde cell составит более 3 млн у.е.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжова Л.П., Носова Е.В. К вопросу эколого-экономической эффективности освоения техногенных месторождений рудных полезных ископаемых // М.: «ГИАБ», 2017 № 9 С. 79–85.
2. Комогорцев Б.В., Вареничев А.А. Технологии и оборудование флотационного обогащения золотосодержащих сульфидных руд// М.: «ГИАБ», 2016 № 10 С. 222–235.
3. Кондратьев С.А., Бурдакова Е.А., Коновалов И.А. О собирательной способности физически сорбируемых ассоциатов "ксантогенат ион-диксантогенид"// Труды ИГД им. Н. А. Чинакала СО РАН, ФТПРПИ, № 3, 2016.
4. Huang G., Cao Y. J., Gao Z.C. Флотация пирита с использованием циклонной статической микропузырьковой флотоколонны (ЦСМФ) //International Mineral Processing Congress (IMPC 2012), New Delhi, 24–28, 2012: Book of Abstracts, Vol. 1, Delhi, 2012. С. 249.
5. Jameson G. J. Флотация во взвешенном слое – новая парадигма для флотации // 26 International Mineral Congress (IMPC 2012), New Delhi, Sept. 24–28, 2012: Book of Abstracts. Vol. 1. New Delhi. 2012. С. 45.
6. Шумилова Л.В., Костикова О.С. Влияние режимных параметров на эффективность работы флотомашины Jameson Cell // М.: «ГИАБ», 2014 № 6 С. 207–212.
7. Fornasiero and D., Filippov L. O. Innovations in the flotation of fine and coarse particles//Journal of Physics Conference Series 879(1):012002 July 2017 DOI:10.1088/1742-6596/879/1/012002
8. Лебедок А.В., Куртуков А.С., Чебурашкин И.С., Маркворт Л. Оценка эффективности использования пневматических флотомашин «Allflot» в обогащении шламовой фракции лежалых хвостов Норильской обогатительной фабрики. Горная промышленность. 2021;(3):98–104. DOI 10.30686/1609-9192-2021-3-98-104.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ «НОВАЯ» НА ПОСТОЯННОМ БОРТУ КАРЬЕРА СТОКА

Еланцева Л.А.¹, Фоменко С.В.²

¹ ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
elantseva@bsu.edu.ru, 308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, д.8,

² Научно-технический и экспертный центр новых экотехнологий в гидрогеологии и гидротехнике «НОВОТЭК»,
svfomenko@rambler.ru, 308002, Россия, г. Белгород, пр. Б. Хмельницкого, д. 131, тел.: (4722) 26-76-53

Аннотация. Выявлена необходимость сооружения системы осушения нижней части альб-сеноманского водоносного горизонта с помощью лучевого дренажа на участке железнодорожной станции «Новая», обеспечивающей повышение устойчивости основания. Проанализирован опыт эксплуатации системы лучевого дренажа за два года. Установлено, что эксплуатация системы лучевого дренажа значительно снизила уровень подземных вод на площадке железнодорожной станции, сократила проскок подземных вод на откос борта карьера, предотвратила суффозионные процессы на горизонте +93 м.

Ключевые слова: борт карьера; подземные воды; лучевой дренаж; горизонтальные дренажные скважины.

ENSURING OF BASE STABILITY OF THE «NOVAYA» RAILWAY STATION AT THE OPEN PIT PERMANENT EDGE OF THE STOILENSKY MINING AND PROCESSING COMBINE

Elantseva L.A.¹, Fomenko S.V.²

¹ Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod
elantseva@bsu.edu.ru

² NEWTECH Co., Ltd (OOO NTC NOVOTEK), Russia, Belgorod
svfomenko@rambler.ru

Abstract. The necessity of constructing of drainage system for drying of lower part of Alb-Cenomanian aquifer by using of radial drainage at the site of the "Novaya" railway station has been identified. This drainage system providing increased base stability. The exploitation experience of radial drainage system during two years has been analyzed. It was found that the radial drainage system exploitation significantly decreased of groundwater level at the site of the railway station,

reduced of groundwater leakage to the quarry slope, prevented of suffusion processes at the horizon of +93 m.

Keywords: quarry edge; groundwater; radial drainage; horizontal drainage wells.

Введение

Важная роль на железорудных месторождениях КМА отводится комплексной защите от подземных вод [1-2]. Повышенный интерес отводится работе системы лучевого дренажа на железнодорожной станции «Новая», расположенной на уступе юго-восточного постоянного борта карьера СГОКа, на участке протяженностью более 2 км.

В обводнении карьера основное участие принимают три водоносных горизонта: турон-коньякский в меле, альб-сеноманский в песках и руднокристаллический в зоне выветривания докембрийских образований.

В зоне влияния осушения карьера Стойленского ГОКа расположены хвостохранилища Лебединского и Стойленского ГОКов, Старооскольское водохранилище, являющиеся источником дополнительного инфильтрационного питания водоносных горизонтов [3-4].

Осушение карьера осуществляется комбинированным способом: подземный дренажный комплекс перехватывает за пределами карьера основную часть потока подземных вод альб-сеноманского водоносного горизонта, прорыв подземных вод, попадающий в карьер, и атмосферные осадки перехватываются внутрикарьерными дренажными устройствами (прибортовыми дренами). Система карьерного водоотлива обеспечивает защиту от подземных вод юрского и руднокристаллического горизонтов.

Локальное осушение борта карьера методом лучевого дренажа

Установлено, что на границе альб-сеноманский и юрских отложений в разрезе отмечается неоднородное переслаивание песчаных и глинистых слоев, а это является проблемным для перехвата потока подземных вод существующей системой осушения. Граница этой зоны колеблется в отметках от +85 до +95 м. В грунтовом основании станции могут проявиться такие инженерно-геологические процессы, как оплывины, суффозионный вынос, выпоры и др., что указывает на необходимость сооружения дополнительных видов систем дренажа.

Для Стойленского ГОКа характерна развитая сеть железнодорожных путей и станций, предназначенных для вывоза горной массы из карьера. С целью приема и отправления составов (груженых и порожних) скальной породы предусмотрено строительство на юго-восточном постоянном борту карьера (абсолютная отметка +93,0 м) железнодорожной станции «Новая».

Повышение устойчивости основания железнодорожной станции обеспечивается локальным осушением постоянного борта карьера СГОКа с помощью лучевого дренажа, предназначенного для предотвращения подтопления территории станции, упорядоченного сбора и отведения дренажных вод в существующий подземный дренажный комплекс.

Лучевой дренаж включает в себя следующие сооружения: водоприемные и водоперепускные колодцы, горизонтальные дренажные, перепускные и водосбросные скважины.

Основной элемент системы дренажа – горизонтальные дренажные скважины, бурение которых осуществляется специальной буровой установкой из водоприемных колодцев.

На практике часто горизонтальные дренажные скважины применяют в качестве самостоятельного элемента дренажа при осушении бортов карьера [5-7].

Основной водоприток к дренажной системе лучевого дренажа станции «Новая» формируется за счет подземных вод нижней части альб-сеноманского водоносного горизонта. Дренажные воды от системы лучевого дренажа отводятся в дренажную шахту через водосбросные скважины, обеспечивая отсутствие загрязнения при движении подземных вод и контакта с поверхностными водами карьера.

Система лучевого дренажа находится в контуре существующей десятилетиями дренажной системы карьера и не влияет на увеличение объема дренажных вод. Она гарантирует полностью управляемую систему сбора дренажных вод с использованием полиэтиленовых фильтровых колонн лучевых дренажных скважин, железобетонных колодцев и водосбросных скважин с установленными в них колоннами обсадных труб, исключая взаимодействие дренажных вод проектируемой системы с загрязненными карьерными водами.

Анализ опыта эксплуатации системы лучевого дренажа показал:

- наиболее высокие уровни, как правило, характерны для теплого периода года, наиболее низкие – для холодного, перепад уровней в наблюдательных скважинах с октября 2021 г. по октябрь 2023 г. составил 0,33-2,96 м (рисунок 1);

- величина сброса в водосбросных скважинах с водоприемных колодцев изменялась от 3,2-17,9 до 48,6-111,9 м³/ч (рисунок 2);

- в воде из водосбросной скважины ВС-5 отмечается существенное превышение ПДК_{ХПВ} по жесткости общей, железа общего, алюминия, никеля, марганца и сульфатов. Это связано с тем, что вода в ВС-5 формируется не только за счет подземных вод, но и дренажных вод, поступающих с водосбросной скважины из карьера и водосбросного штрека;

- повышение устойчивости основания железнодорожной станции «Новая» и обеспечение необходимой степени осушения уступа и бермы карьера;

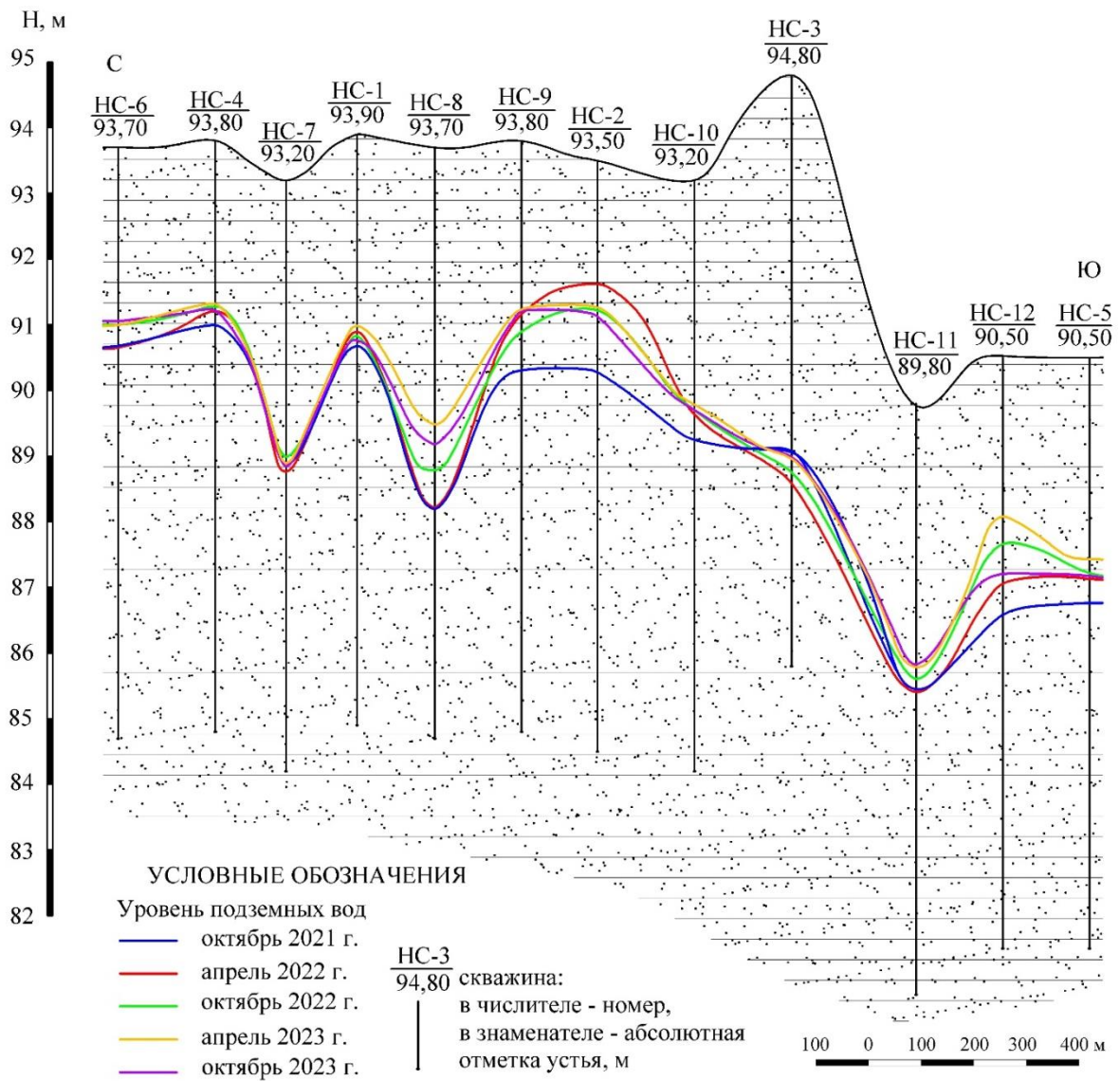


Рис. 1 – Гидрогеологический разрез

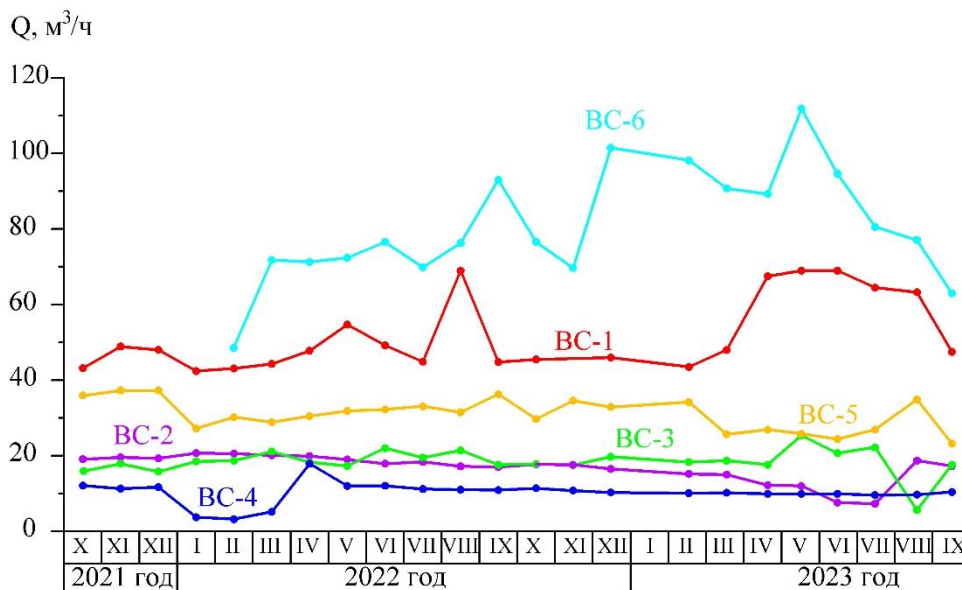


Рис. 2 – Величина сброса из водосборных скважин

- существующая региональная воронка депрессии в альб-сеноманском водоносном горизонте не претерпела заметных изменений. Дополнительное понижение уровня подземных вод по всему контуру системы дренажа карьера не превысит среднегодовых колебаний.

Выводы

Эксплуатация системы лучевого дренажа в течение двух лет способствовала:

- снижению уровня подземных вод альб-сеноманского водоносного горизонта в районе площадки железнодорожной станции «Новая» на 3 м;

- значительному сокращению величины проскока подземных вод на откос постоянного борта карьера;

- практически полному прекращению проявлений суффозионных процессов вблизи дренажной канавы на горизонте +93 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малина Н. П., Анпилов О. В. Дренажный комплекс Лебединского ГОКа // Горный журнал, 2017, № 5. – С. 58-61.

2. Эпов А. В. Развитие подземного дренажного комплекса ОАО «Стойленский ГОК» // Горный журнал, 2011, № 6. – С. 46-48.

3. Бочаров В.Л. Влияние горнодобывающих предприятий на подземные воды Старооскольско-Губкинского района КМА // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. 2017. № 3. – С. 95-99.

4. Петин А. Н., Крамчанинов Н. Н., Погорельцев И. А., Уколов И. М. Оценка техногенного воздействия на подземные воды в зоне влияния Старооскольско-Губкинского промышленного комплекса // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. № 3-3. – С. 949-953.

5. Шорохов В. П. Радченко А. Т. Система осушения карьерного поля разреза «Бородинский» горизонтальными дренажными скважинами как альтернатива подземному способу // Уголь, 2013. № 6. – С. 18-21.

6. Еланцева Л.А., Фоменко С.В. Повышение фильтрационной устойчивости бортов карьера им. В. Гриба // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 3. – С. 242-250.

7. Elantseva L.A., Fomenko S.V. Improving the pit wall seepage resistance at the V. Grib diamond deposit // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2022. № 6. – С. 7-17.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЭКОЛОГИИ

Чуева Е.А., Шевченко Д.А.

*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(ГФ НИТУ «МИСИС»)*

Аннотация. В статье дана краткая историческая характеристика развития геоинформационных систем (ГИС), а также использование ГИС для достоверности и качества информации о процессах окружающей среды для обеспечения безопасности населения и предупреждения негативных воздействий антропогенной деятельности на окружающую природную среду.

Ключевые слова: геоинформационная система; экология; база данных; мониторинг; моделирование экологической обстановки; картографические материалы.

GEOINFORMATION SYSTEMS IN ECOLOGY

Chueva E.A., Shevchenko D.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. The article provides a brief historical description of the development of geographic information systems (GIS), as well as the use of GIS for the reliability and quality of information about environmental processes to ensure public safety and prevent negative impacts of anthropogenic activities on the environment.

Keywords: geoinformation system; ecology; database; monitoring; modeling of the environmental situation; cartographic materials.

Разработка информационных систем, обобщающих и представляющих в наглядном виде результаты исследований объектов окружающей среды, необходима для современного общества. В настоящее время встает вопрос о необходимости предупреждения негативных воздействий антропогенной деятельности на окружающую природную среду, а также достоверность и качество информации о процессах окружающей среды для обеспечения безопасности населения.

Для решения этих и подобных задач были созданы геоинформационные системы (далее ГИС) – аппаратно-программные человеко-машинный комплексы, обеспечивающие сбор,

обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию данных, информации и знаний о территории. ГИС объединяют картографические материалы, данные дистанционного зондирования, результаты полевых обследований территорий, статистические и литературные данные для их эффективного использования. Благодаря ГИС осуществляется привязка экологических данных к пространственным объектам.

Геоинформационные системы (ГИС) – системы сбора, хранения, анализа и графической визуализации географических данных и связанной с ними информации о необходимых объектах. ГИС позволяет рассматривать данные по анализируемым проблемам относительно их пространственных взаимоотношений, что позволяет проводить комплексную оценку ситуации и создает основу для принятия более точных и разумных решений в процессе управления. Данные системы включают в себя пространственные базы данных, редакторы растровой и векторной графики, различные средства пространственного анализа данных. Они могут применяться в картографии, метрологии, геологии, геодезии, землеустройстве, экономике и во многих других областях. К таким областям относится экология [1].

Большинство геоинформационных систем осуществляют комплексную обработку информации.

Геоинформационные системы подразделяют по нескольким основаниям:

- по пространственному охвату (как инструмент, работающий с любыми данными в пространственной среде и имеющий свою систему координат);
 - объекту или предметной области;
 - целям;
 - функциональным возможностям;
 - способу организации географических данных;
 - проблемной ориентации и др.

Информация вносится через различные способы и подлежит редактированию. С помощью геоинформационных систем создаются наглядные иллюстративные карты и схемы. Одной из основных функций ГИС является организация и управление информацией. Современные ГИС – имеют удобный инструмент, помогающий управлять информацией используя пространственный принцип.

Обработка, анализ и хранение – функции ГИС, превращающие ее из инструмента по работе с готовыми данными (визуализатора) в инструмент по созданию новых данных на их основе, моделирования и прогнозирования [2].

К задачам ГИС экологического мониторинга относят:

- мониторинг и прогнозирование динамики изменения состояния наблюдаемых объектов и территорий в пространстве и во времени;
- построение тематических карт заданных территорий;
- моделирование природных и антропогенных процессов;
- раннее выявление неблагоприятных факторов.

Идея изображения данных с помощью различных слоев на базовых картах, а также соотносить предметы географически и пространственно возникла задолго до появления персонального компьютера. Еще французский картограф Луи-Александр Бертье использовал прозрачные откидные накладки, на которых были представлены перемещения войск (карта битвы при Йорктауне, 1781 г.). В середине XIX века в атласе Ирландских железных дорог на одну карту, взятую за основу, были наложены карты населения, транспортные потоки, геологическое строение и рельеф. Также в сентябре 1854г. врач Джон Шоу использовал карту смертности от холеры, которую он наложил на центральную часть Лондона, что впоследствии привело к источнику эпидемии. Этим источником оказался колодец. Это стало примером первого географического анализа [3].

Становление геоинформационных систем происходило в 4 этапа.

1. Новаторский период (конец 50-х – конец 60-х гг. XX века). Данный период характеризуется изучением принципиальных возможностей информационных систем, получением и обработкой эмпирического опыта, а также созданием первых масштабных проектов и теоретических работ.

2. Период государственного влияния или пионерский период (начало 70-х – начало 80-х гг. XX века). В этот период происходило становление и развитие геоинформатики, разработка геоориентированных проектов, а также накопление опыта.

3. Период коммерциализации (начало 80-х гг. – середина 90-х гг. XX века). Происходит развитие инструментальных средств, калибровка рынка программных продуктов, создаются базы геоданных, корпоративных и индивидуальных.

4. Период потребления (конец 90-х гг. XX века – настоящее время). Так характеризуется современный этап. Появляется конкуренция на рынке производителей ГИС, формируется целая ГИС инфраструктура и расширяется сфера использования геоинформационных технологий [4].

Проблемы, связанные с экологией требуют незамедлительного принятия решений. Эффективность решений непосредственно связано с оперативностью обработки и представления информации. При комплексном подходе, характерном для экологии, опираются на обобщенную характеристику окружающей среды. Данные обязаны быть легкодоступными и иметь системность в соответствии с потребностями. Группировка данных

в нужном виде, их надлежащее изображение, сопоставление и анализ зависят от квалификации и эрудированности исследователя, выбранного им подхода интерпретации накопленной информации. На этапе обработки и анализа собранных данных существенное место занимает техническая оснащённость исследователя, включающая подходящие для решения поставленной задачи аппаратные средства и программное обеспечение [5].

Средства ГИС включают все основные функции получения высококачественных карт и планов. В самой концепции ГИС заложены всесторонние возможности сбора, интеграции и анализа любых распределённых в пространстве или привязанных к конкретному месту данных. Если существует необходимость представить имеющуюся информацию в виде карты, графика или диаграммы, создать, дополнить или видоизменить базу данных, совместить её с другими базами – мы обращаемся к ГИС [6].

Проводя анализ баз данных, выдаются сведения о географии территории, которые могут быть представлены в следующих виде трёхмерных моделей, цифровых моделей рельефа, ландшафтных карт, карт углов наклона рельефа, карт ущерба природным ресурсам, карт эрозионной опасности, карты экспозиций склонов и др.

Благодаря имеющимся сведениям о рассматриваемой территории, ГИС – технологии оказывают помощь в следующих направлениях.

1. Загрязнение. В ГИС представляется возможность представления моделей уровня загрязнений разнообразных объектов на местности и в атмосферной оболочке, и в гидрологической сети. Результат представления модели можно наложить, к примеру, на природные карты растительности. В конечном итоге представится возможность произвести оценку экстремальной ситуации, например, разлив нефтепродуктов, а также можно проследить загрязнение от различных объектов производства.

2. Деградация среды обитания. Геоинформационные системы применяют для создания карт, отображая основные параметры окружающей среды. При получении данных о состоянии флоры и фауны, о масштабах и скорости их деградации, составляется анализ. Используя данные системы представляется возможность осуществлять мониторинг антропогенного воздействия различного масштаба.

3. Землевладение. Данное направление применимо для составления кадастров. С их помощью создаются карты земельной собственности и базы данных. На них можно накладывать карты разнообразных экономических и природных планов. Таким образом, создаются комплексные карты.

4. Мониторинг охраняемых территорий. ГИС используют для сбора и управления данными охраняемых территорий (заповедники, национальные парки и др.). Происходит планирование и осуществление природоохранных мероприятий, проводится мониторинг

редких видов растений и животных. Также производится мониторинг за оценкой продуктивности земельных участков и регулирование выпаса скота.

5. Восстановление среды обитания. С помощью ГИС осуществляется поиск районов, в которых наблюдается дефицит популяции тех или иных видов животных и растений, а также контроль за живыми организмами на стадии адаптации к новой территории.

6. Мониторинг. Геоинформационные технологии анализируют и оценивают предпринятые действия на локальном и региональном уровнях

7. Публикации. При помощи ГИС упрощается процедура публикации различных видов картографических данных (рис.1). Доступность и легкость программ помогает обычному пользователю скоротечно считывать карты, и распечатывать их [7].

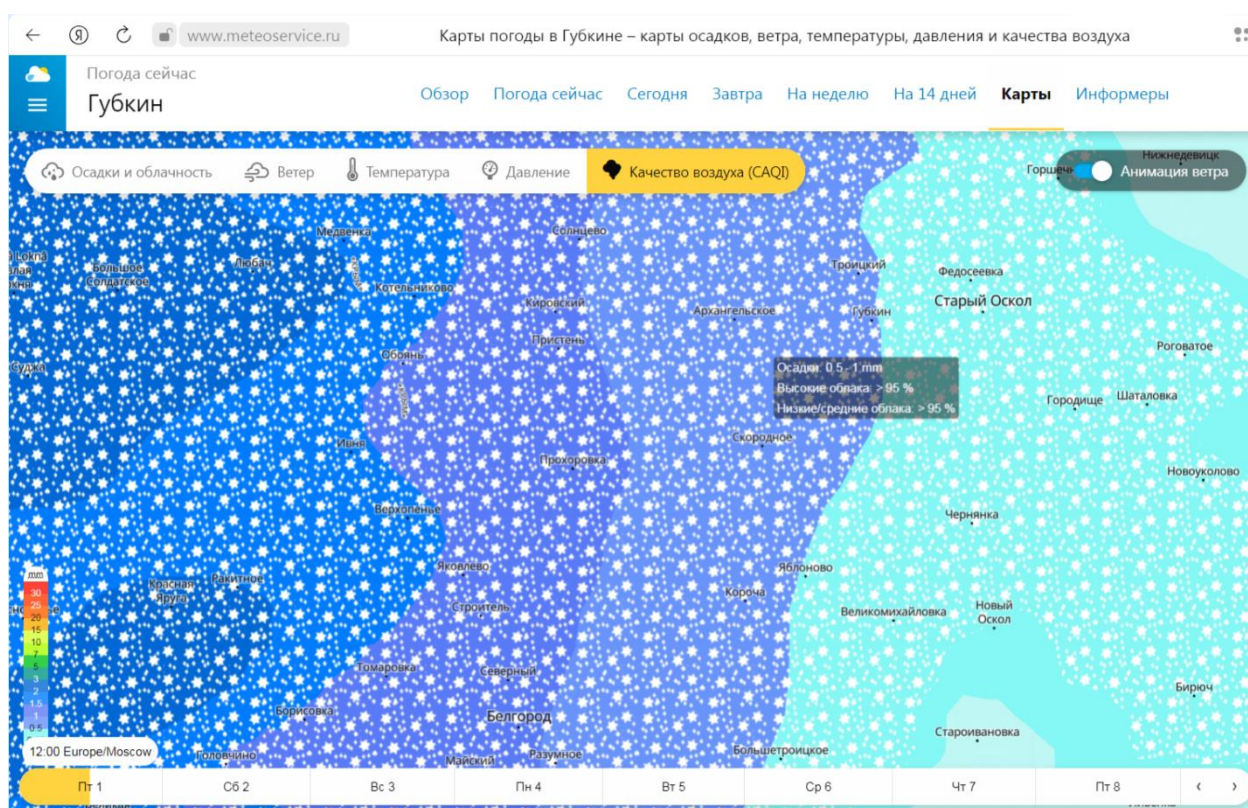


Рис. 1 – Пример карты погоды – карты осадков, ветра, температуры, давления и качества воздуха

Таким образом, геоинформационные системы играют огромную роль в экологии. ГИС осуществляет сбор данных об экологической ситуации, реализует задачи в целях прогнозирования и обеспечения сохранности здоровья населения и благоприятность окружающей среды. Мониторинг позволяет осуществлять контроль над экологической ситуацией, а также во многих других областях применения ГИС в экологии и природопользовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФЗ №7 от 10.01.2002 (ред. от 02.07.2021) «Об охране окружающей среды» URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ Дата обращения: 11.11.2023 г.
2. Геоинформационные системы в экологии. URL: <https://cyberpedia.su/16x3120.html> Режим доступа: свободный. Дата обращения: 11.11.2023 г.
3. Милехин О. Е. Применение спутниковой информации для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. / . – Москва: НИЦ «Планета», 2020. – 66 с.
4. Самардак, А. С. Геоинформационные системы / А. С. Самардак. – Владивосток : Дальневост. гос. ун-т, 2018. – 124 с.
5. Хаустов, А. П. Экологический мониторинг: Учебник / А. П. Хаустов, М. М. Редина. – Москва: Юрайт, 2019. – 489 с.
6. Применение ГИС и ДЗЗ в экологии и природопользовании. Режим доступа: свободный. URL: <http://kafbor.psu.ru/primenenie-gis-i-ddz-v-ekologii-i-prirodopolzovanii/> Дата обращения: 11.11.2023 г.
7. Программы для ГИС: современное программное обеспечение для GIS URL: <https://www.zwsoft.ru/stati/programmy-dlya-gis-sovremennoe-programmnoe-obespechenie-dlya-gis>. Режим доступа: свободный. Дата обращения: 11.11.2023г.

СЕКЦИЯ 3 «ГОРНОЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

УДК 62-231.322.2

АНАЛИЗ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИВОДА ДРОБИЛКИ

Белов Н.В.

АО «Стойленский ГОК», Россия, Старый Оскол

***Аннотация.** В данной статье представлен анализ известных предохранительных устройств приводов дробилок. Определены достоинства и недостатки существующих предохранительных муфт и предложена новая конструкция предохранительного устройства.*

Ключевые слова: предохранительное устройство; дробилка; защита привода; динамические нагрузки.

ANALYSIS OF SAFETY DEVICES OF THE CRUSHER DRIVE

Belov N.V.

Stoilensky GOK JSC, Stary Oskol, Russia

***Abstract.** This article presents an analysis of the known safety devices of crusher drives. The advantages and disadvantages of existing safety couplings are determined and a new design of the safety device is proposed.*

Keywords: safety device; crusher; drive protection; dynamic loads.

Причинами аварийных остановок дробилок чаще всего являются возникновение перегрузочного крутящего момента вследствие коротких замыканий двигателя, заклинивания дробилки не дробимым предметом или выхода из строя детали дробилки.

Для выбора устройства, защищающего привод дробилки, необходимо учитывать динамические нагрузки возникающие в процессе дробления и передаваемые на привод от работающей дробилки, а также перегрузки возникающие в момент прохождения не дробимого тела и его заклинивания в дробилке.

Для передачи крутящего момента от приводного агрегата на вал рабочей машины применяются муфты соединения приводных валов. В зависимости от технических характеристик рабочей машины и режимов работы как правило при проектировании подбирается типовая муфта, отвечающая требованиям по скорости – частоте вращения вала (м/с), и крутящему моменту (Н/м). После чего в зависимости от проектируемого агрегата подбираются дополнительные функции муфты, в том числе предохранительные.

Наиболее распространены муфты [1], применяемые при прямом приводе дробилок, которые могут выдерживать нагрузки до механического разрушения: срезных предохранительных, эластичных элементов и металлических деталей муфты. Данные конструкции муфт разрабатывались как устойчивые к кратковременным динамическим нагрузкам не высокой амплитуды, при длительном воздействии эластичные, срезные элементы таких муфт получают непоправимые повреждения при воздействии от воздействия чрезмерной нагрузки, при этом в момент их разрушения как правило металлические детали муфты так же воспринимают перегрузки, но не разрушаются, а разрывают связь привода и дробилки. Для восстановления таких муфт необходимы достаточно высокие трудозатраты, при этом неизбежен простой оборудования.

Известны конструкции муфт, в которых после разрушения эластичных элементов муфты в зацепление входят металлические части ступицы и обоймы. Конструкции муфт разрабатывались как устойчивые к отказам на случай разрушения эластичных элементов они оборудованы устройствами дополнительного сцепления, за счёт проворачивания ступицы относительно обоймы, при разрушении эластичного элемента в выступ на ступице муфты прижимается к обойме и тем самым муфта начинает работать как жесткая. Данная опция позволяет кратковременно работать в аварийном режиме. Например, до выработки бункера или камеры дробления дробилки, но такие функциональные способности не защищают привод дробилки от воздействия перегрузок.

Во многих конструкциях щековых дробилок крупного дробления основным решением передачи крутящего момента от электродвигателя и увеличением мощности за счет размеров ведущего и ведомого шкивов является клиноременная передача [2]. При этом у щековых дробилок ведомый шкив расположен непосредственно на эксцентриковом валу. В некоторых конструкциях дробилок соединение ведомого шкива с эксцентриковым валом выполнено через фрикционную муфту, а в случае её отсутствия для защиты от перегрузок в дробилках предусмотрены подверженные к разрушению распорные плиты, при разрушении которых разрывается кинематическая связь дробящей подвижной щеки. В конусных дробилках крупного дробления ведомый шкив расположен на отдельном валу с подшипниковыми опорами соединение с приводным валом дробилки осуществлено с применением втулочно -

пальцевой муфты, ведущий шкив аналогично связан с электродвигателем. Для передачи крутящего момента клиноремённая передача должна обладать достаточной упругостью, в комплексе с использованием упругой втулочно – пальцевой муфтой компенсируется не только угловые отклонения валов, но и частично динамические нагрузки.

Недостатки ремённой передачи давно известны: низкий КПД по сравнению с передачами зацеплением, повышенные нагрузки на валы и оси, а также сравнительно невысокая долговечность ремня [2].

В конусных дробилках российского производства основным решением для передачи крутящего момента от электродвигателя на приводной вал дробилки используются два варианта: 1) муфта с упругими лепестками, которые также выполняют функцию предохранительного устройства и разрушаются в момент заклинивания дробилки; 2) дисковые упругие полужёсткие муфты. Данный выбор обусловлен необходимостью компенсации угловых смещений приводного вала и вала электродвигателя, а также частичной компенсации динамических нагрузок происходящих при дроблении материалов высокой прочности [1]. В большинстве случаев данное исполнение является не очень эффективным так как его необходимо каждый раз восстанавливать в процессе срабатывания, что опять же приводит к трудозатратам и простоям, а также существует опасность, что упругая муфта войдёт в резонансный режим и сама станет источником повышенных крутильных колебаний, разрушая элементы привода.

В конструкциях дробилок среднего и мелкого дробления импортного производства используются высокотехнологичные решения с индивидуальными конструкциями комбинированных муфт, одно из таких решений муфта предельного момента Safeset [3] фирмы «Voith» для дробилки Sandvik CH -890/895. Для компенсации угловых отклонений валов на муфте со стороны электродвигателя установлена упругая муфта с эластичными роликами (рис.1), а на приводном валу установлена муфта предельного момента (рис.2), представляющая собой полумуфту имеющую внутреннюю полость для закачивания рабочей жидкости под высоким давлением за счёт чего, происходит деформация внутренней поверхности полумуфты и тем самым осуществляется её жесткое прижатие к валу и внешней части муфты, обеспечивающие передачу крутящего момента. В момент перегрузки происходит смещение внешней оболочки муфты и обламывается верхняя часть срезных трубок в следствии чего происходит сброс давления в муфте, внешняя оболочка муфты продолжает вращения не передавая крутящий момент на приводной вал. Недостатком данного решения является высокая стоимость и необходимость восстановления после срабатывания.

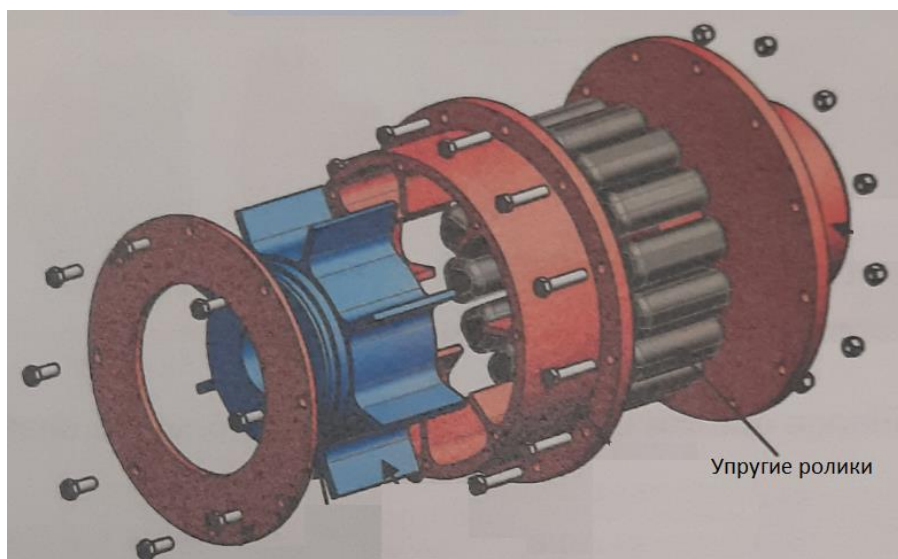


Рис. 1 – Упругая муфта с эластичными роликами

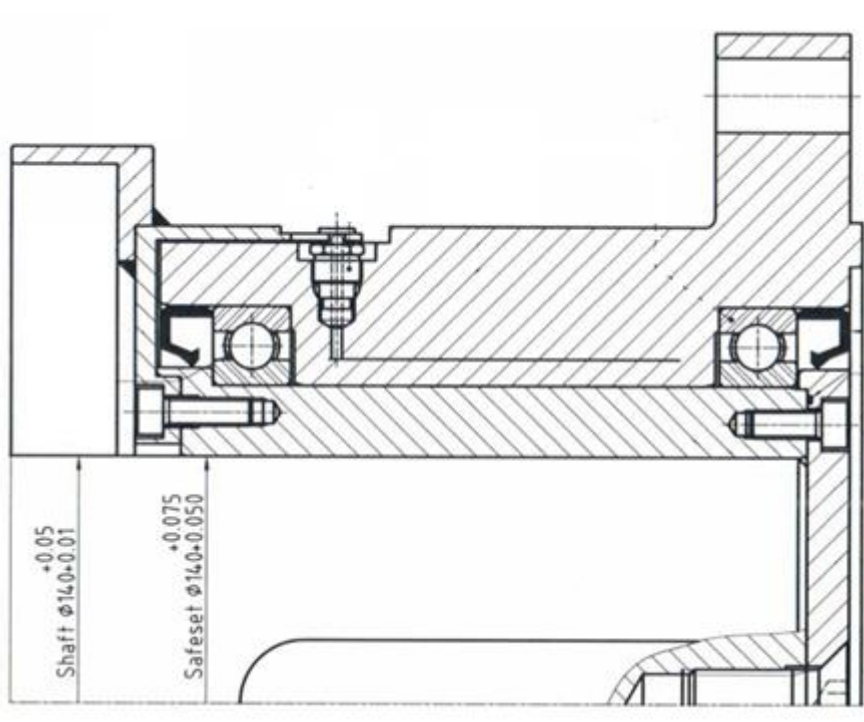


Рис. 2 – Муфта предельного момента Safeset

При использовании в дробилке электродвигателей постоянного тока с прямым приводом, применяемых, в динамичных условиях эксплуатации частые разгоны и остановки не защищает электромашину от воздействия динамических нагрузок со стороны дробилки, так же необходимо отметить, что воздействия от перегрузок в случае применения большой единичной мощности электродвигателя необходима защита элементов дробилки от воздействия привода, так как будут происходить разрушения зубчатых передач, валов и

других деталей дробилки от нагрузок, превышающих предельные, передаваемых со стороны двигателя.

Особый интерес представляют предложения известных мировых производителей «Voith» и «Flender» – постоянно заполненные гидродинамические муфты (турбомуфты), основанные на принципе Феттингера способные одновременно решать комплекс задач: ненагруженный пуск двигателя и его разгон; плавность при ускорении самых тяжелых масс; ограничение крутящего момента при запуске; возможность применения недорогих электродвигателей с короткозамкнутым ротором; отсутствует необходимость в модификации двигателя; эффективное демпфирование ударных нагрузок; защита от перегрузки двигателя и рабочей машины; выравнивание нагрузки на многодвигательных приводах.

Детали турбомуфты на сторонах входа и выхода не соединены между собой механически [4]. Выходное усилие передается посредством масла низкой вязкости, вращающего муфту и проходящего по радиальным лопастям, поэтому при передаче момента происходит механический износ значительно меньший, чем в механических передачах.

Например, муфты FLUDEX фирмы «Flender» [4] собраны из нескольких надежных узлов (рис.3). Внутренние компоненты включают в себя полый или сплошной вал 1, к которому крепится рабочее колесо 2. Внешний корпус содержит крышку 3 и кожух рабочего колеса 4. Соединение выполнено в виде болтового фланца и уплотнено кольцевой прокладкой. Внешний корпус и вал (или полый вал) оснащены опорой с двухрядным подшипником и уплотнены сальниками валов. Муфта поставляется с двумя пробками заливных отверстий 5 с встроенным перепускным клапаном и одной или двумя плавкими предохранительными пробками 6 в корпусе муфты для защиты от перегрева. Плавкая предохранительная пробка или установленная в том же месте резьбовая пробка служат также пробками сливного отверстия, поэтому, если нанести на корпус шкалу, их можно использовать в качестве индикатора уровня.

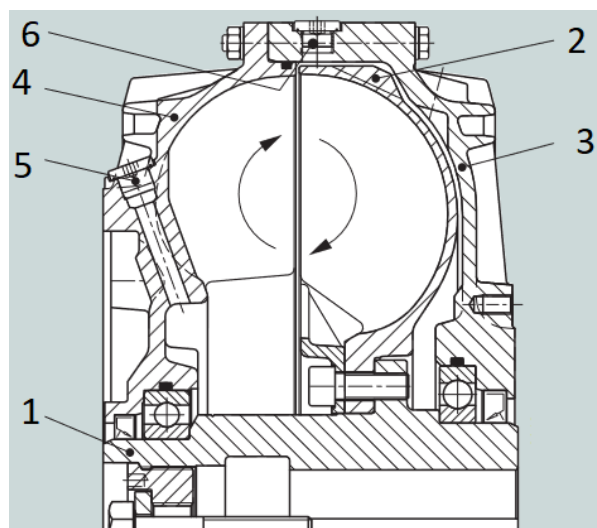


Рис. 3 – Турбомуфта

В дополнительных опциях реализована «камера замедления заполнения» которая уменьшает объём рабочей жидкости в момент запуска и тем самым позволяет запуститься двигателю в ненагруженном состоянии. После разгона двигателя рабочая жидкость поступает в рабочий контур из камеры замедления, так реализуется плавное ускорение рабочего механизма. В случаях необходимости обеспечения безопасности использованием воды в качестве рабочей жидкости. Турбомуфты не могут компенсировать смещение валов в связи с чем они часто комплектуются дополнительной муфтой способной компенсировать такие отклонения.

Для защиты от перегрева используются плавкие предохранители, контроль температуры осуществляется бесконтактным -термическим устройством, передающим сигнал на отключение привода или механическим –термическим устройством у которого при достижении температуры срабатывания активируется стержень, воздействующий на выключатель.

При возбуждении крутильных колебаний муфта FLUDEX действует как средство разъединения. Крутильные колебания с частотой >5 Гц практически полностью поглощаются муфтой [4]. Исследования динамики работы дробилки показали, что привод в процессе дробления испытывает динамические нагрузки с частотой порядка $0,25 - 1$ Гц. То есть турбомуфта не сможет поглощать динамические нагрузки такой частоты. Кроме того, энергия колебаний даже частично не возвращается в систему, как это происходит в упругих муфтах, а тратится на нагрев рабочей жидкости. Поэтому, из-за достаточно низкой частоты и высокой амплитуды динамических нагрузок, возникающих в процессе дробления рудного материала в дробилке компенсация данной энергии происходит в рабочем органе турбомуфты и будет

вызывать нагрев рабочей жидкости. Если муфта FLUDEX длительное время эксплуатируется с недопустимо высоким проскальзыванием, масло и корпус муфты перегреются [4].

Именно температура является характеристикой, ограничивающей рабочие параметры турбомуфты и в случае перегрева, происходит срабатывание плавких предохранителей и выпуск нагретой рабочей жидкости от 190 градусов и выше, что может привести к возгоранию рабочей жидкости в случаях использования минерального масла. Кроме того, перегрев турбомуфты может привести к остановке дробилки под завалом, что приведёт к трудозатратам по освобождению дробилки от завала и простоям.

Дополнительным ограничивающим критерием применения турбомуфт является высокая технологичность изготовления и как следствие высокая стоимость самой турбомуфты.

Анализ показал, что разработка предохранительного устройства для привода конусной дробилки обладающего свойствами демпфирования динамических нагрузок и эффективной защиты привода от перегрузок является актуальной задачей. Возможным решением которой является разработка гидромеханического предохранительного устройства с дифференциальным зубчатым передаточным механизмом [5], способным снижать амплитуду динамических нагрузок, защищать привод от перегрузки, самовосстанавливаться и возвращать часть энергии колебательных нагрузок в систему, не входя в резонанс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам / под ред. Полякова В.С. 2-е изд., испр. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 344с.
2. Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для студентов ВТУЗов / Под ред. Финогенова В.А. - 6-е изд. - М.: Высшая школа, 2000. - 383 с.
3. SAFESET. Torque limiting safety coupling. Maintenance Instructions. – Voith. 2010, 50 p.
4. Муфты FLENDER. Стандартные муфты. Каталог MD 10.1 Siemens AG, 2008, 276 с.
5. Бородина М.Б. Адаптивные возможности гидромеханических муфт с дифференциальным передаточным механизмом / Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 8 (81). С. 33-40.

ДИНАМИКА РАБОТЫ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРИВОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

Белов Н.В.¹, Бородина М.Б.², Мироненко С.В.²

¹ АО «Стойленский ГОК», г. Старый Оскол, Россия; e-mail: info@nlmk.com

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»), e-mail: tomm_sti_MISIS@mail.ru

***Аннотация.** В работе представлено математическое моделирование динамики работы гидромеханического предохранительного устройства в приводе конусной дробилки. Предохранительное гидромеханическое устройство с дифференциальным зубчатым передаточным механизмом предназначено для защиты привода и элементов конусной дробилки от динамических высокоинтенсивных нагрузок, возникающих при дроблении материалов и перегрузок, вызванных, в основном, попаданием недробимого предмета в зону дробления. Разрабатываемая математическая модель предназначена для выявления графических зависимостей параметров работы привода от начальных и конструктивных параметров предохранительного устройства, позволяющих определить и обосновать рациональные параметры устройства. Что позволит разрабатывать для привода дробилки предохранительные устройства с упругими элементами, способными снижать амплитуду динамических нагрузок на этапах загрузки материала и его дробления и при перегрузках защищать привод дробилки.*

Ключевые слова: конусная дробилка; привод; предохранительное устройство; математическое моделирование; динамические нагрузки; модернизация дробилок.

SIMULATION OF THE DYNAMICS OF THE SAFETY DEVICE IN THE CONE CRUSHER DRIVE

Belov N.V.¹, Borodina M.B.², Mironenko S.V.²

¹ Stoilensky GOK JSC, Stary Oskol, Russia

² Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *The paper presents mathematical modeling of the dynamics of the operation of a hydromechanical safety device in the drive of a cone crusher. A safety hydromechanical device with a differential gear transmission mechanism is designed to protect the drive and elements of the cone crusher from dynamic high-intensity loads that occur during crushing of materials and overloads caused mainly by the entry of an uncrushable object into the crushing zone. The mathematical model being developed is intended to identify graphical dependencies of the drive operating parameters on the initial and design parameters of the safety device, allowing one to determine and justify the rational parameters of the device. This will make it possible to develop safety devices for the crusher drive with elastic elements capable of reducing the amplitude of dynamic loads at the stages of material loading and crushing and protecting the crusher drive during overloads.*

Keywords: cone crusher; drive unit; safety device; math modeling; dynamic loads; modernization of crushers.

Исследование работы конусных дробилок [1-5] приводит к выводу, что большинство отказов элементов дробилок являются случайными и зависят от высокоамплитудных динамических нагрузок, действующих на эти элементы. Поэтому было предложено установить в привод конусной дробилки новое предохранительное устройство с регулируемой жёсткостью, способное эффективно снижать амплитуду динамических нагрузок [6]. Для определения рабочих параметров устройства, необходимо разработать математическую модель динамики работы привода конусной дробилки с установленным в него предохранительным устройством.

При составлении расчётной схемы (рис.1) все моменты инерции, а также силы и моменты, действующие: со стороны двигателя, приведём к валу 1; со стороны дробилки, приведём к валу 2; со стороны гидросистемы, приведём к валу 3.

На вал 1 действует движущий момент, определяемый механической характеристикой асинхронного двигателя [7].

На вал 2 действует приведённый момент сопротивления со стороны конусной дробилки.

На вал 3 действует приведённый момент $M_{Гпр}$ со стороны гидросистемы, который зависит от давления в гидроаккумуляторе и трения жидкости в гидравлических линиях гидросистемы.

Кроме того, в подшипниковых узлах передаточного механизма действуют моменты сопротивления от трения [8].

При составлении математической модели работы привода конусной дробилки с гидромеханическим предохранительным устройством были приняты следующие допущения:

1. Коэффициенты трения контактных поверхностей являются постоянными и пренебрежимо малыми;
2. Считаем, что сжимаемость жидкости в гидросистеме и упругость элементов передаточного механизма пренебрежимо малы;
3. Предполагается, что изменение состояния газа в гидропневмоаккумуляторе представляет собой изотермический процесс.

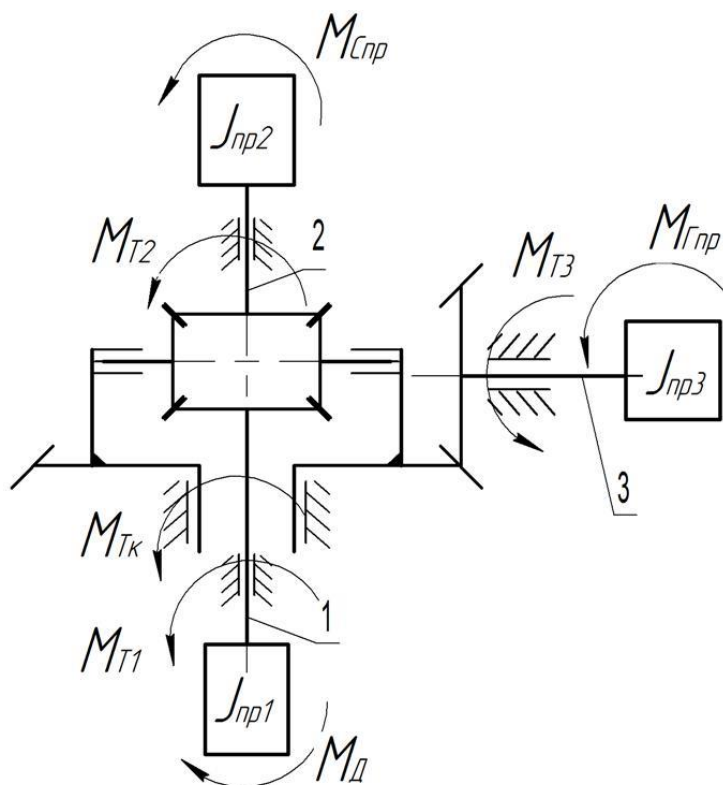


Рис. 1 – Расчётная схема макета муфты

Момент инерции, приведённый к валу 1 равен моменту инерции ротора асинхронного двигателя.

Для определения момента инерции, приведённого к валу 2, определим суммарный запас кинетической энергии всех движущихся частей конусной дробилки [9].

$$T_{\Sigma} = T_{\text{кон}} + T_{\text{в-ш}} = (J_{\text{кон}} + J_{\text{к}} + J_{\text{в}}) \cdot \frac{\omega_{\text{кон}}^2}{2} + J_{\text{в-ш}} \cdot \frac{\omega_2^2}{2}, \quad (1)$$

где $T_{\text{кон}}$ – кинетическая энергия дробящего конуса; $T_{\text{в-ш}}$ – кинетическая энергия вал-шестерни; $J_{\text{кон}}$ – момент инерции дробящего конуса; $J_{\text{к}}$ – момент инерции конического колеса; $J_{\text{в}}$ – момент инерции вала-эксцентрика; $J_{\text{в-ш}}$ – момент инерции вала-шестерни; $\omega_{\text{кон}} = \omega_2 / i$ – угловая скорость вращения вала дробящего конуса; ω_2 – угловая скорость приводного вала; i – передаточное отношение конической передачи.

По принципу приведения, величина суммарного запаса кинетической энергии всех движущихся частей дробилки, приведённых к валу 2 остается неизменной [9].

$$J_{\text{пр}2} \cdot \frac{\omega_2^2}{2} = (J_{\text{кон}} + J_{\text{к}} + J_{\text{в}}) \cdot \frac{\omega_2^2}{2i^2} + J_{\text{в-ш}} \cdot \frac{\omega_2^2}{2} \quad (2)$$

Отсюда выразим приведённый момент инерции к валу 2:

$$J_{\text{пр}2} = (J_{\text{кон}} + J_{\text{к}} + J_{\text{в}}) \cdot \frac{1}{i^2} + J_{\text{в-ш}} \quad (3)$$

Момент инерции, приведённый к валу 3 равен моменту инерции ротора гидромашины.

Приведённый к валу 3 момент зависит от давления в гидросистеме и жидкостного трения в гидролиниях:

$$M_{\text{Гпр}} = M_{\text{р}} - M_{\text{жид}}^{\text{T}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{р}}$ – момент гидромашины, определяемый давлением в гидросистеме, $M_{\text{жид}}^{\text{T}}$ – момент жидкостного трения при протекании рабочей жидкости по гидролиниям представим в виде:

$$M_{\text{жид}}^{\text{T}} = \mu \cdot \dot{\varphi}_3 + \dot{\varphi}_3^2, \quad (5)$$

где μ и ν – параметры демпфирования, характеризующие соответственно рассеяние энергии при ламинарном и турбулентном течении жидкости через дроссельное отверстие и определяемые в зависимости от величины числа Рейнольдса [10].

Следует учесть, что давление в гидросистеме определяется в основном давлением в газовой камере гидроаккумулятора. Для процессов, происходящих в газовой камере справедливо соотношение [11]:

$$p \cdot V = p_0 \cdot V_0, \quad (6)$$

где p_0 , V_0 – начальные давление и объём, занимаемый газом в газовой камере гидроаккумулятора; p , V – текущие значения давления и объёма.

Текущий объём, занимаемый газом,

$$V = V_0 - V_{\text{ж}}, \quad (7)$$

где $V_{\text{ж}} = V_1 \cdot \varphi_3$ – объём жидкости, накачанный в гидроаккумулятор, φ_3 – угол поворота вала 3, $V_1 = Q/\Omega_n$ – объём жидкости, проходящий через гидромашину при повороте на один радиан, Q – производительность (расход) гидромашины при номинальной угловой скорости вращения вала Ω_n .

Из уравнения (6) с учетом уравнения (7) выразим текущее давление в гидросистеме:

$$p = \frac{p_0 \cdot V_0}{V_0 - V_{\text{ж}}} = \frac{p_0 \cdot V_0}{V_0 - V_1 \cdot \varphi_3} = p_0 + \frac{p_0 \cdot V_1}{V_0 - V_1 \cdot \varphi_3} \cdot \varphi_3. \quad (8)$$

Тогда момент $M_{\text{р}}$, действующий на регулировочный вал гидромашины:

$$M_{\text{р}} = p \cdot V_1 = p_0 \cdot V_1 + \frac{p_0 \cdot V_1^2}{V_0 - V_1 \cdot \varphi_3} \cdot \varphi_3 = M_{\text{р}0} + c \cdot \varphi_3, \quad (9)$$

где $M_{\text{р}0}$ – момент, создаваемый начальным давлением в гидросистеме; c – коэффициент

крутильной жёсткости гидроупругого элемента гидросистемы:

$$c = \frac{p_0 \cdot V_1^2}{V_0 - V_1 \cdot \varphi_3}. \quad (10)$$

Из уравнения (10) следует, что жёсткость муфты зависит как от угла поворота регулировочного вала гидромашины (то есть характеристика жёсткости не является линейной), так и от начального давления p_0 в газовой камере гидроаккумулятора и расхода гидромашины, которые можно регулировать в процессе работы привода.

Кроме того, следует учесть, что если момент, воздействующий на вал 3 со стороны передаточного механизма меньше M_{p0} , то вал 3 не вращается и муфта работает, как жёсткая. При этом передаточный механизм работает с одной степенью свободы.

Уравнение для полной механической характеристики асинхронного электродвигателя имеет вид [7]:

$$M_D = \frac{z_p \cdot m_1 \cdot R_2' \cdot U_1^2}{\omega_1 s [(R_1 + c_1 R_2' / s)^2 + (X_1 + c_1 X_2')^2]} \quad (11)$$

где X_1 и X_2 — первичное и вторичное приведенные реактивные сопротивления рассеяния; s — скольжение двигателя; ω_1 — синхронная угловая скорость двигателя; R_1 и R_2 — первичное и вторичное приведенные активные сопротивления; U_1 — фазное напряжение.

Нагрузку на приводном валу выражали по результатам статистических данных, полученных на АО «Стойленский ГОК» [12]:

$$M_C = \frac{P}{\omega_H} = \begin{cases} 0,15M_H, & \text{при } 0 \leq t < 120 \\ 1,9M_H, & \text{при } 120 \leq t < 122 \\ 0,9M_H + 0,1M_H \cdot \sin(k_1 t) + 0,8M_H \cdot \sin(k_2 t), & \text{при } t \geq 122 \end{cases} \quad (12)$$

Для моделирования работы передаточного механизма гидромеханического устройства использованы уравнения Лагранжа 2-го рода [13]. Зубчатый дифференциальный механизм предохранительной муфты имеет 2 степени свободы [14]. Ведущим звеном является приводной вал 1, угол поворота которого φ_1 определяет угол поворота вала 2 φ_2 , а также угол поворота вала 3 гидромашины φ_3 :

$$\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 + \frac{\dot{\varphi}_3}{u} \quad (13)$$

где u - передаточное отношение конического дифференциала.

В качестве обобщённых координат принимаем угол поворота вала 2 φ_2 и угол поворота вала 3 φ_3 .

Кинетическая энергия системы складывается из совокупности кинетических энергий отдельных ее частей:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (14)$$

где T_1 – кинетическая энергия приводных элементов; T_2 – кинетическая энергия элементов, приведённых к валу 2; T_3 – кинетическая энергия элементов, приведённых к валу 3.

Кинетическая энергия системы приводных элементов состоит из кинетической энергии приводного вала 1 $T_{пр1}$, кинетической энергии солнечного колеса $T_{ск}$ и кинетической энергии сателлитов:

$$\begin{aligned} T_1 = T_{пр1} + T_{ск} + T_c &= \frac{1}{2} \left(J_{пр1} + J_k + \frac{n}{i_1^2} J_c \right) \left(\dot{\varphi}_2 + \frac{\dot{\varphi}_3}{u} \right)^2 = \\ &= \frac{1}{2} J_1 \left(\dot{\varphi}_2 + \frac{\dot{\varphi}_3}{u} \right)^2 \end{aligned} \quad (15)$$

где $J_{пр1}$ – момент инерции приводного вала; $\omega_1 = \dot{\varphi}_1$ – угловая скорость приводного вала; J_k – момент инерции солнечного колеса; J_c – момент инерции сателлита; i_1 – передаточное отношение пары солнечное колесо - сателлит; n – количество сателлитов;

Кинетическая энергия элементов, приведённых к валу 2 состоит из кинетической энергии системы, приведённой к валу 2 $T_{пр2}$ и кинетической энергии коронного колеса $T_{кк}$.

$$T_2 = T_{пр2} + T_{кк} = \frac{1}{2} (J_{пр2} + J_k) \dot{\varphi}_2^2 = \frac{1}{2} J_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2 \quad (16)$$

где $J_{пр2}$ – момент инерции системы, приведённой к валу 2; $\omega_2 = \dot{\varphi}_2$ – угловая скорость вала 2; J_k – момент инерции коронного колеса, равный моменту инерции солнечного колеса.

Кинетическая энергия элементов, приведённых к валу 3 состоит из кинетической энергии гидросистемы, приведённой к валу 3 $T_{пр3}$, кинетической энергии шестерни $T_{ш}$ и колеса, связанного с водилом, T_b

$$T_3 = T_{пр3} + T_{ш} + T_b + T_c = \frac{1}{2} \left(J_{пр3} + J_{ш} + \frac{1}{i_2^2} J_b \right) \dot{\varphi}_3^2 = \frac{1}{2} J_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2 \quad (17)$$

где $J_{пр3}$ – момент инерции системы, приведённой к валу 3; $\omega_3 = \dot{\varphi}_3$ – угловая скорость вала 3; где $J_{ш}$ – момент инерции шестерни; J_b – момент инерции колеса, связанного с водилом; i_2 – передаточное отношение конической передачи.

Таким образом, кинетическая энергия системы:

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} J_1 \left(\dot{\varphi}_2 + \frac{\dot{\varphi}_3}{i} \right)^2 + \frac{1}{2} J_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2 + \frac{1}{2} J_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2 = \\ &= \frac{1}{2} (J_1 + J_2) \cdot \dot{\varphi}_2^2 + \left(\frac{J_1}{i^2} + J_3 \right) \cdot \dot{\varphi}_3^2 + \frac{J_1}{i} \dot{\varphi}_2 \cdot \dot{\varphi}_3 \end{aligned} \quad (18)$$

Обобщённые силы определяются из уравнения возможных работ всех действующих на систему сил и моментов:

$$\begin{aligned} \delta A &= M_D \cdot \delta \varphi_1 - M_C \cdot \delta \varphi_2 - M_{Гпр} \cdot \delta \varphi_3 = \\ &= (M_D - M_C) \cdot \delta \varphi_2 + \left(\frac{M_D}{i} - M_{Гпр} \right) \cdot \delta \varphi_3 \end{aligned} \quad (19)$$

Сообщая системе возможное перемещение, при котором $\delta\varphi_2 \neq 0$, а $\delta\varphi_3 = 0$ найдём первую обобщенную силу:

$$Q_2 = M_D - M_C \quad (20)$$

Далее мысленно останавливаем вал 2 при вращающемся вале 3, тогда:

$$Q_3 = \frac{M_D}{i} - M_{\Gamma_{\text{пр}}} \quad (21)$$

Найдём частные производные кинетической энергии и продифференцируем уравнения для частных производных:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) = (J_1 + J_2) \cdot \ddot{\varphi}_2 + \frac{J_1}{i} \ddot{\varphi}_3 \quad (22)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} \right) = \left(\frac{J_1}{i^2} + J_3 \right) \cdot \ddot{\varphi}_3 + \frac{J_1}{i} \ddot{\varphi}_2 \quad (23)$$

Согласно уравнения Лагранжа 2 рода получаем систему дифференциальных уравнений 2 порядка [16]:

$$\left\{ \begin{array}{l} (J_1 + J_2) \cdot \ddot{\varphi}_2 + \frac{J_1}{i} \ddot{\varphi}_3 = M_D - M_C \\ \left(\frac{J_1}{i^2} + J_3 \right) \cdot \ddot{\varphi}_3 + \frac{J_1}{i} \ddot{\varphi}_2 = \frac{M_D}{i} - M_{\Gamma_{\text{пр}}} \end{array} \right. \quad (24)$$

Таким образом, система уравнений, описывающая работу гидромеханического предохранительного устройства в приводе конусной дробилки примет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (J_1 + J_2) \cdot \ddot{\varphi}_2 + \frac{J_1}{i} \ddot{\varphi}_3 = M_D - M_C \\ \left(\frac{J_1}{i^2} + J_3 \right) \cdot \ddot{\varphi}_3 + \frac{J_1}{i} \ddot{\varphi}_2 = \frac{M_D}{i} - M_{\Gamma_{\text{пр}}} \\ M_D = \frac{z_p \cdot m_1 \cdot R_2' \cdot U_1^2}{\omega_1 s [(R_1 + c_1 R_2' / s)^2 (X_1 + c_1 X_2')^2]} \\ M_C = \begin{cases} 0,15M_H, & \text{при } 0 \leq t < 120 \\ 1,9M_H, & \text{при } 120 \leq t < 122 \\ 0,9M_H + 0,1M_H \cdot \sin(k_1 t) + 0,8M_H \cdot \sin(k_2 t), & \text{при } t > 122 \end{cases} \\ M_{\Gamma_{\text{пр}}} = M_p - M_{\text{жид}}^{\Gamma} \\ M_p = M_{p0} + c \cdot \varphi_3 \\ c = \frac{p_0 \cdot V_1^2}{V_0 - V_1 \cdot \varphi_3} \end{array} \right.$$

Так как полученная математическая модель представляет собой систему, содержащую нелинейные неоднородные дифференциальные уравнения второго порядка, то целесообразно решать её численными методами, моделируя процесс работы дробилки с гидромеханическим предохранительным устройством в Matlab Simulink [15].

Работа двигателя и имитация нагрузки со стороны технологической машины задаётся аналогично построению имитационной модели работы привода без установленного в привод предохранительного гидромеханического устройства [12].

Механическая часть предохранительного устройства состоит из дифференциального механизма и моделируется блоком Differential, который делит движение, передаваемое от двигателя на движение двух валов, один из которых связан с электродвигателем, моделируемым блоком Out1, а другой с гидромашинной, моделируемой блоком Conn 1 (рис. 2).

Гидравлическая система предохранительного устройства была составлена на базе стандартных блоков библиотеки Matlab Simulink.

Для сравнения работы привода без гидромеханического предохранительного устройства и с ним, построили сравнительную имитационную модель (рис.2).

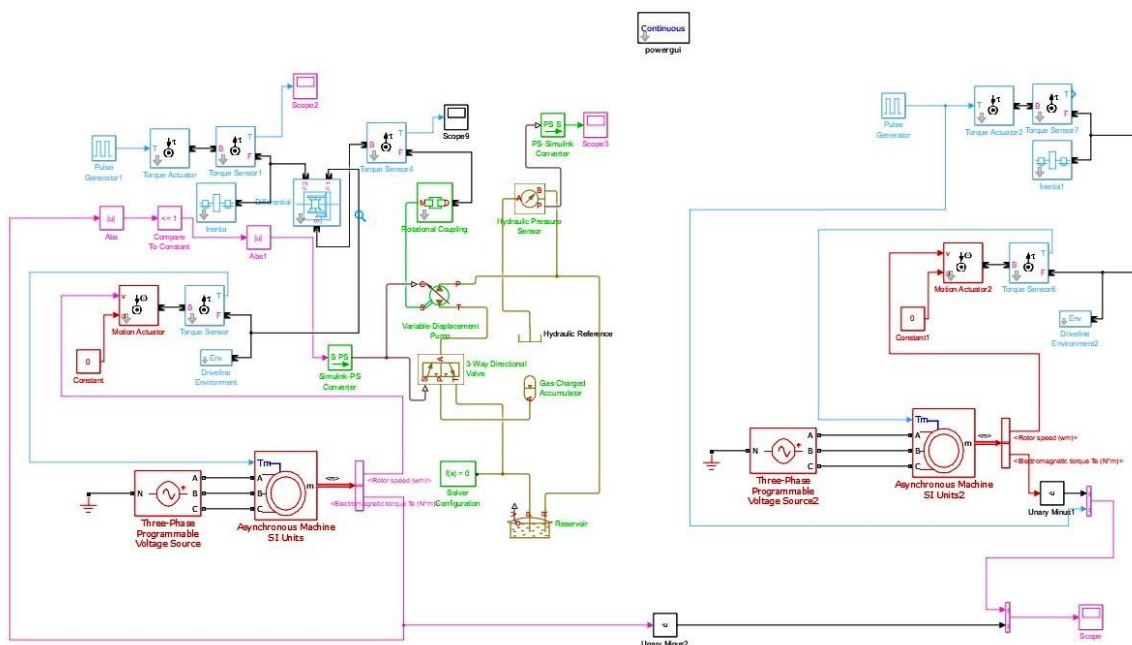


Рис. 2 – Сравнительная модель динамики работы привода

В данной модели регистрируется нагрузка на валу электродвигателя, и выводятся на экран графики колебания мощности на валу двигателя привода с гидромеханическим предохранительным устройством и без него. Результаты математического моделирования представлены на рисунке 3.

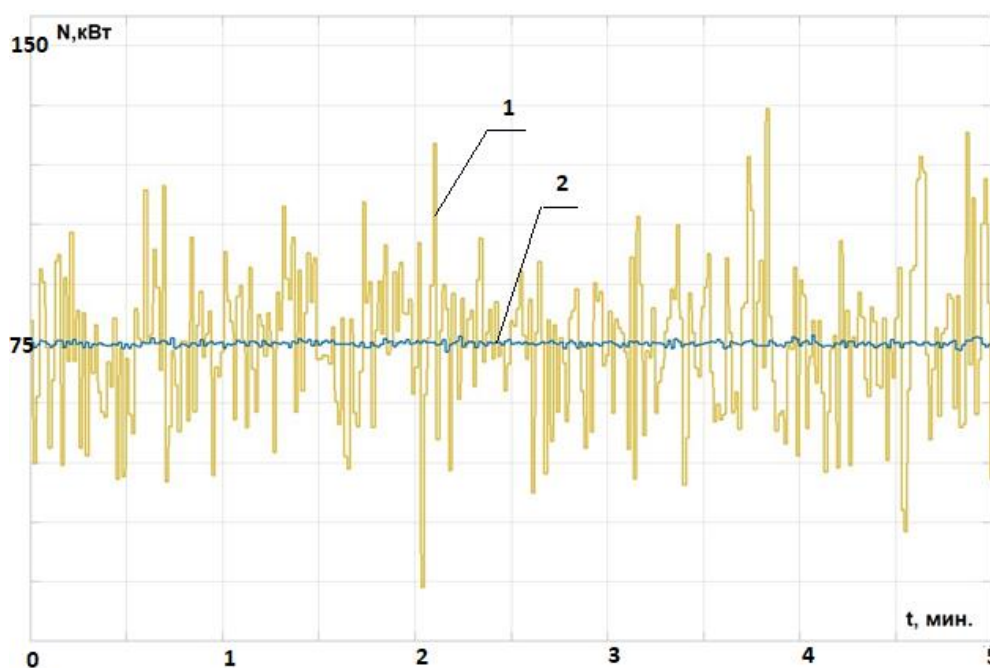


Рис. 3 – Теоретические графики изменения мощности двигателя дробилки: 1 – без предохранительного устройства;
2 – с предохранительным устройством в приводе

Выводы.

Полученная модель динамики работы привода конусной дробилки позволяет исследовать работу привода при различных режимах дробления и различной жёсткости привода. Результаты математического моделирования показали, что воздействие динамических нагрузок на привод при установке предлагаемого предохранительного устройства снижается в среднем в 6 раз, что говорит об эффективной защите привода от динамических нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов Н.В., Бородина М.Б., Смирнова О.А., Часовских А.С. Анализ отказов элементов конусных дробилок и причин их возникновения. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 3. С. 17-27
2. Калянов А.Е., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Расчет параметров гидрофицированной конусной дробилки. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2017. Т. 16. № 1. С. 73-81.
3. Старжинский В.Е., Шалобаев Е.В., Суриков Д.Г., Толочка Р.-Т.А. Обзор возможных отказов редукторов электроприводов. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. № 5-2. С. 277-286

4. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – Машиностроение, Москва, 1990 г., 320 стр.
5. Гончаров А.Б., Тулинов А.Б., Иванов В.А., Гончаров А.А. Технологии восстановления основных узлов конусных дробилок. - Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2017. № 1. С. 13-18.
6. Бородина М.Б. Адаптивные возможности гидромеханических муфт с дифференциальным передаточным механизмом. Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 8 (81). С. 33-40
7. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для ВУЗов. - 2-е издание перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1998
8. Спицын Н. А., Машнев М. М., Красковский Е. Я. Опоры осей и валов машин и приборов. Л. : Машиностроение, 1970. 520 с.
9. Гурин В.В. Механика: учеб. для вузов–Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 366 с.
10. Гусев А. А. Гидравлика. Теория и практика : учебник для вузов /2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2014. - 285 с.
11. Гудилин Н. С., Кривенко Е. М., Маховиков В.С. и др. Гидравлика и гидропривод: Учебное пособие / М.: Изд-во МГГУ, 2001. - 520 с
12. Белов Н.В., Бородина М.Б., Смирнова О.А., Мироненко С.В. Моделирование нагрузок в приводе конусной дробилки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 12. С. 93-102
13. Барботько. А. И. Основы теории математического моделирования : Старый Оскол : ТНТ, 2013 . - 212 с.
14. Тимофеев. Г. А. Теория механизмов и машин: учебник и практикум для прикладного бакалавриата / Г. А. Тимофеев. - 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2014. – 429 с.
15. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. 1-е издание. М. : ДМК Пресс, 2007. 288 с.

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СРЕД ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Жулдыбин А.А., Владимиров А.А., Макаров А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
tomn_sti_MISIS@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240*

***Аннотация.** Статья посвящена разработке технологии электроискрового легирования в защитных средах. В процессе работы были изготовлены: экспериментальная установка для электроискрового легирования в защитных средах. В результате исследования были изучены процессы и зависимости формирования электроискровых покрытий в защитных средах, микротвердость сформированных покрытий, шероховатости поверхности покрытий, абразивной износостойкости покрытий.*

Ключевые слова: электроискровое легирование; СВС-электродные материалы; износостойкость; микрогеометрия поверхности; твердый сплав; микротвердость; термостойкость; микрорельеф; шероховатость поверхности.

ON THE PROSPECTS OF USING PROTECTIVE MEDIA FOR THE FORMATION OF ELECTRIC SPARK COATINGS

Zhuldybin A.A., Vladimirov A.A., Makarov A.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article is devoted to the development of the technology of electric spark alloying in protective environments. In the process of work, the following were manufactured: an experimental installation for electric spark alloying in protective environments. As a result of the study, the processes and dependencies of the formation of electric spark coatings in protective media, the microhardness of the formed coatings, the surface roughness of coatings, and the abrasive wear resistance of coatings were studied.*

Keywords: electrospark alloying; SHS-electrode materials; wear resistance; surface microgeometry; hard alloy; microhardness; heat resistance; microrelief; surface roughness.

Развитие машиностроения в современных условиях предъявляет повышенные требования к надежности деталей машин, что требует применения дорогостоящих материалов, которые в свою очередь приводят к усложнению технологий обработки деталей. В настоящее время уделяется значительное внимание прогрессивным, ресурсо- и энергосберегающим технологиям с низкой стоимостью для поверхностного упрочнения, к которым относится электроискровое легирование в защитных средах и ее сочетание с другими видами финишной обработки покрытия. Для получения заданных свойств упрочняемых поверхностей необходимо разработать методику управления структурными характеристиками и установить закономерные связи между составами упрочняемых материалов, технологическими режимами комбинированной обработки, структурой и свойствами легированных слоев. Таким образом, проблема разработки комбинированной технологии, включающей электроискровое легирование фасонным электродом в защитной среде и финишную обработку, для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств сформированного покрытия, является актуальной.

Анализ литературных источников, касающихся комбинированной обработки, включающей электроискровое легирование фасонным электродом в защитной среде и финишной обработки, показал, что исследования в данной области требуют дополнительного изучения. Отмечено, что сдерживающими факторами широкого применения предложенной технологии являются:

- недостаточно изучены условия возникновения, основные факторы и явления, сопровождающие протекание технологических процессов комбинированной технологии;
- отсутствие оценки степени влияния комбинированной обработки на формирование структуры и свойств легированных слоев;
- отсутствие исследований механизма формирования структуры измененных слоев, его зависимости от исходной структуры электродных материалов и режимов обработки;
- отсутствие данных по исследованию эрозионных свойств и массопереноса с фасонных поверхностей электрода на фасонные поверхности изделий.

Для оценки влияния защитной газовой среды на эксплуатационные свойства формируемых покрытий были проведены исследования жаростойкости и стойкости к адгезионному изнашиванию. Покрытия были сформированы на стали 20Х13 ГОСТ 5632-2014, на трех энергетических режимах электродными материалами: СТИМ-11 ($\text{TiB}_2\text{-NiAl}$), СТИМ-40 (TiC-NiAl), W (LaO), ВК8 и Т15К6 в аргоне и на воздухе (табл. 1).

Таблица 1 – Режимы формирования электроискровых покрытий

Режим	Сила тока I, А	Длительность импульсного разряда τ , мкс	Частота следования импульсных разрядов f , Гц
2	175	50	600
4	200	200	300
6	200	750	80

Из результатов исследований жаростойкости (табл. 2), очевидно, что оптимальными режимами электроискрового легирования в среде аргона являются режимы 2 и 6. Например, для режима 2 характерно увеличение жаростойкости в 1,3 раза для электродных материалов W (LaO), T15K6 и BK8. Для режима 6 характерно увеличение жаростойкости от 1,5 до 3,8 раз для электродных материалов СТИМ-40, W (LaO), T15K6.

Таблица 2 – Суммарный прирост массы при испытании на жаростойкость

№ обр.	53	58	63	54	59	64	55	60	65
Электрод	СТИМ-11			СТИМ-40			W (LaO)		
Режим	2	4	6	2	4	6	2	4	6
$\Sigma m_{ц5}$	2,173	3,017	2,983	1,087	0,885	0,305	0,888	1,140	0,785

№ обр.	57	62	67	56	61	66	71
Электрод	T15K6			BK8			20X13
Режим	2	4	6	2	4	6	–
$\Sigma m_{ц5}$	0,998	0,962	0,562	1,048	1,515	1,272	1,150

Исходя из значений по адгезионному износу (табл. 3), следует, что величина износа стали 20X13 составила 0,075 г., адгезионная износостойкость покрытий в среде аргона для режимов 2, 4 и 6 увеличивается от 4 до 37 раз для электродных материалов W (LaO), СТИМ-40, T15K6, BK8.

Таблица 3 – Массы образцов при испытании на адгезионный износ

№ п/п	№ обр.	$m_{ц10}$	№ п/п	№ обр.	$m_{ц10}$	№ п/п	№ обр.	$m_{ц10}$
1	20X13	0,075	13	№15	0,007	25	№89	0,018
2	№10	0,017	14	№18	0,003	26	№74	0,010
3	№13	0,007	15	№39	0,005	27	№76	0,003

4	№16	0,013	16	№45	0,007	28	№78	0,008
5	№32	0,043	17	№106	0,065	29	№90	0,010
6	№40	0,082	18	№108	0,022	30	№92	0,005
7	№11	0,007	19	№110	0,093	31	№94	0,007
8	№14	0,017	20	№112	0,005	32	№96	0,003
9	№17	0,003	21	№81	0,043	33	№98	0,002
10	№33	0,007	22	№83	0,032	34	№101	0,010
11	№41	0,010	23	№85	0,050	35	№104	0,005
12	№12	0,007	24	№87	0,003			

На основании исследований жаростойкости и адгезионной стойкости электроискровых покрытий, сформированных в среде аргона, были сформулированы выводы и поставлены дальнейшие задачи исследований.

1. Установлено, что оптимальными энергетическими режимами электроискрового легирования в защитных средах для увеличения жаростойкости являются режимы 2 и 6 в совокупности с материалами СТИМ-40, W (LaO), T15K6 и BK8.

2. Выявлено, что оптимальными энергетическими режимами электроискрового легирования в защитных средах для увеличения адгезионной износостойкости покрытий являются режимы 2, 4 и 6 в совокупности с материалами W (LaO), СТИМ-40, T15K6, BK8.

На основании полученных результатов сформулированы дальнейшие задачи исследований по формированию покрытий в защитных средах:

- для получения комплексной оценки о влиянии защитной среды на жаростойкость покрытий, необходимо проведение исследований покрытий, сформированных на режимах 2 и 6 и электродными материалами СТИМ-11, СТИМ-40, W (LaO), BK8 и T15K6 без защиты зоны легирования;

- исследование типа защитных сред для электроискрового легирования с целью определения возможности применения газовой среды как для защиты, так и для дополнительного легирования формируемого покрытия;

- для получения комплексной оценки влияния защитной среды на формируемые покрытия, необходимо проведение дополнительных исследований на адгезионную износостойкость;

- при испытании на адгезионную износостойкость необходимо учесть следующие факторы: 1 – исследования производить до полного изнашивания покрытия, 2 – учитывать шероховатость исходной поверхности покрытия, 3 – определять величину износа весовым и геометрическим методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании. Владивосток: Дальнаука, 1995. – 323.
2. Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А., Прядко Л.Ф., Егоров Ф.Ф. Электродные материалы для электроискрового легирования. – М: Наука, 1988. – 224 с.
3. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 196 с.
4. Ким В.А., Коротаев Д.Н. Газовая среда – фактор упрочнения при электроискровом легировании // Электронная обработка материалов. Кишинев. – 1998. – С. 37-43.
5. Коротаев Д.Н., Иванова Е.В., Худякова О.Д. Управление качеством формирования износостойких поверхностных слоев методом электроискрового легирования. Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2015. №5 (218). С. 34-37.
6. Коротаев, Д.Н. Влияние газовых сред на технологические возможности электроискрового легирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Коротаев Дмитрий Николаевич. Благовещенск, 1998. – 203 с.: ил.
7. Коротаев, Д.Н. Создание износостойких покрытий электроискровым легированием в окислительных и инертных средах с оптимизацией режимов и использованием твердосплавных электродов: автореф. ... док. техн. наук / Дмитрий Николаевич Коротаев. – Омск, 2009. – 36 с.
8. Кудряшов А.Е., Доронин О.Н., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Швындина Н.В. Перспективы применения электродных СВС-материалов и технологии электроискрового легирования для упрочнения прокатных валков // Черные металлы. – 2013. – № 10. – С. 61-68.
9. Кудряшов А.Е., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Кирюханцев-Корнеев Ф.В., Швейко А.Н., Швындина Н.В. Применение технологии электроискрового легирования и модифицированных СВС-электродных материалов для повышения стойкости прокатных валков стана горячей прокатки. Часть 2. Структура и свойства сформированных покрытий. Электронная обработка материалов – 2019 – 55(2) – С. 10-22.
10. Кудряшов А.Е., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Манакова О.С., Петржик М.И. Применение технологии электроискрового легирования и модифицированных СВС-электродных материалов для повышения стойкости прокатных валков стана горячей прокатки. Часть 1. Особенности формирования покрытий на подложках из белого чугуна СПХН-60. Электронная обработка материалов – 2018 – 54(5) – С. 43-55.

11. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Курбаткина В.В., Максимов Ю.М., Юхвид В.И. Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М.: Изд. Дом МИСИС, 2011. – 377 с.

ЗАДАЧИ ОБРАТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КЛАПАНА RE240

Казанцев А.А., Новиков Д.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), antonkazantsev81@gmail.com

Аннотация. В статье описаны основные проблемы, возникающие при обратном проектировании. Описана частная задача для шахтного клапана RE240. Дана классификация задач (проблем) по возможности их решения конструкторскими методами.

Ключевые слова: обратное проектирование; клапан; основные задачи.

MAIN ISSUES FOR REVERSE ENGINEERING OF RE240 VALVE

Kazantsev A.A., Novikov D.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. The article describes the main problems that arise during reverse engineering. A particular problem for the RE 240 shaft valve is described. The classification of main issues (problems) is given according to the possibility of their solution by design methods.

Keywords: reverse engineering; valve; main tasks.

В связи с определенными трудностями получения импортных деталей и комплектующих, применяемых на заводе по производству ГБЖ на АО «Лебединский ГОК» перед предприятием и рядом других производств встала новая задача - воспроизводство запасных частей в условиях санкций или то самое импортозамещение, которое обозначили в Правительстве РФ еще в 2011 г. Поскольку копирование импортных технологий является логическим путем его решения, но на сегодняшний день это достаточно сложная задача, требующая должного уровня подготовки и ресурсов, то первым шагом к этой работе является обратное проектирование запасных частей и узлов. Разработка РКД на комплектующие изделия сегодня является приоритетом в системе НИР и ОКР на горнорудных предприятиях КМА. Группа конструкторов из ГФ НИТУ «МИСИС» приступила к этой работе в 2022 г в подразделениях холдинга «Металлоинвест» и в процессе разработки документации оборудования столкнулась с определенными трудностями на заводах ГБЖ АО «Лебединский ГОК».

В данной работе рассматриваются задачи (проблемы) при обратном проектировании клапана RE240. Вот некоторые из них:

1. Некомплектность изделия на этапе эскизирования, ограниченность информации о составе изделия и принципах работы.
2. Предоставляемые компоненты очень сильно бывшие в употреблении - не которые поверхности оплавлены и изношены и (или) уже бывшие в ремонте.
3. Предоставлены только механические части оборудования.
4. Остаточная материальная ценность оборудования и в связи с этим невозможность полной разборки сложных компонентов.
5. Отсутствие информации о применяемых материалах и не всегда их соответствие ГОСТам.
6. Предоставление компонентов в неочищенном виде.

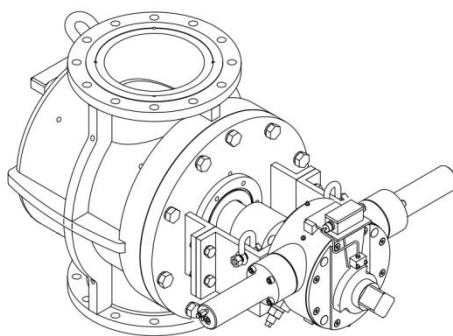


Рис. 1 – Общий вид клапана

Классификация проблем по степени их возможного решения. Рассмотрим каждую из обозначенных проблем отдельно.

1. В случае предоставления некомплектного изделия сложно ожидать полное обратное проектирование сборочной единицы. Наши коллеги-подрядчики придерживаются той же позиции. Тем не менее при соблюдении общей последовательности проектирования, анализа конструкции, анализа возможного принципа работы и логических выводов некоторые элементы в целом удастся воссоздать, но они могут иметь существенные отличия от оригинала. Данную проблему можно классифицировать как частично решаемую.

2. Предоставление бывших в употреблении компонентов не всегда однозначно определяет возможность или не возможность их обратного проектирования. Опять же конструктивный анализ позволяет определить важность или наоборот не высокую важность некоторых поверхностей сопряжения отдельных деталей, однако, полностью отсутствующие элементы конструкции в связи с неоднократно выполненными предыдущими ремонтами без

минимальной технической информации о составе изделия не позволяют быть до конца уверенными о технической возможности обратного проектирования. В нашем случае минимальная информация была найдена, что позволило переработать конструкцию модели б/у изделия и приблизить ее к первоначальному виду. Например, тугоплавкие защитные вставки Выходных отверстий на б/у изделии были ранее удалены и выполнена наплавка внешних поверхностей выходных отверстий см. рис. 2. Без первоначальной технической документации вполне разумно было бы заключить что такое техническое решение могло быть первоначально задумано. Данную проблему можно классифицировать как сложно решаемую.

3.



Рис. 2 – Выходное отверстие корпуса клапана с наплавленной поверхностью

4. Представленный комплект оборудования состоял только из механической части. Как видно из схемы рис. 3. у устройства есть еще управляющая гидравлическая часть. Данная часть не была представлена на эскизирование вовсе, поэтому не могла быть перепроектирована. Данную проблему можно классифицировать как не решаемую.

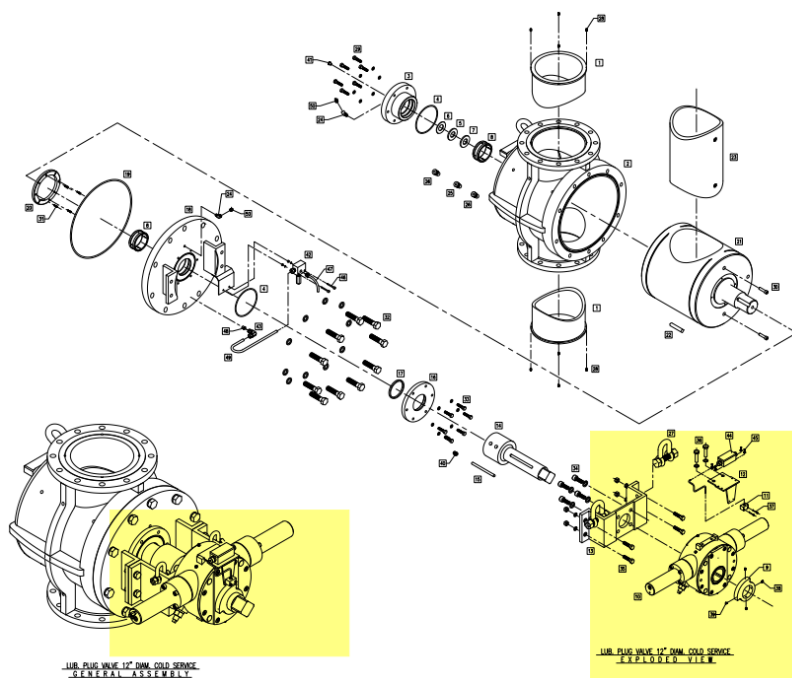


Рис. 3 – Разнесенная сборка клапана (первичная техническая информация)

5. Наиболее неясная часть конструкции клапана - золотниковая часть. Из представленной на рис. 2 технической информации, общего внешнего вида на рис. 4 и конструктивного анализа стало понятно что золотниковая часть состоит из нескольких компонентов: основание, вставка защитная, и оболочка. Способ крепления вставки к основанию понятен, однако способ крепления оболочки к основанию - нет. Также не ясно охлаждаемая ли внутренняя часть золотника или нет, т.к. на торце штоковой части золотника имеется отверстие. Опыт разработки других клапанов и их базовая техническая информация свидетельствует о возможном частичном охлаждении штоковой части. Тем не менее информации об этом на данном клапане мы не получили. Анализ конструкции, а именно такой детали как шток выходной позволил нам заключить что золотник не охлаждается, т.к. в нем нет отверстий для подвода жидкости. Остаточная материальная ценность оборудование подразумевает его возможное использование в случае аварийной остановки установки ГБЖ, данный факт не позволил нам на этапе эскизирования полностью разобрать золотниковую часть для анализа конструкции. Однако с конструкторской точки зрения данная задача была решена, поэтому данную проблему можно назвать решаемой.

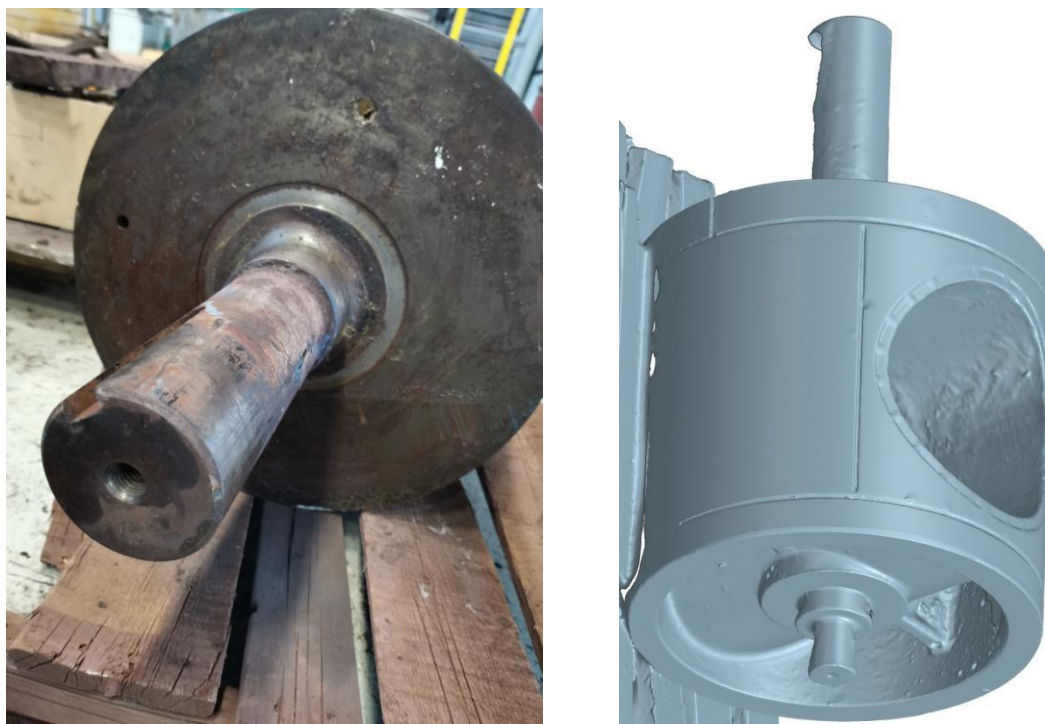


Рис. 4 – Золотниковая часть клапана

6. Отсутствие информации о применяемых материалах тоже создаёт определённые трудности, но учитывая современное состояние техники и технологии - при наличии мобильных устройств рентгенофлуоросцилографии можно определить подходящие марки материалов. При отсутствии таковых - назначить по условиям эксплуатации. Данную проблему можно считать решаемой условно, т.к. металловедение в принципе достаточно сложная наука, а неполное соответствие российских ГОСТов зарубежным стандартам хоть и позволяет подобрать материал, тем не менее отличия по условиям эксплуатации могут иметь место.

7. Предоставление компонентов в неочищенном виде (рис. 5) хоть и является прямым нарушением условий предоставления деталей на эскизирование, тем не менее встречается довольно часто, но и решается достаточно оперативно, хотя и отнимает определенное рабочее время, которое можно было потратить на выполнение работ по эскизированию, вместо вынужденного простоя.



Рис. 5 – Детали в неочищенном (фото слева) и очищенном (фото справа) виде

Вывод

Базовая техническая документация на импортные комплектующие промышленных производств может иметь существенное значение для обратного проектирования, т.к может содержать чувствительную информацию, без которой порой обратное проектирование может быть затруднено или потребует существенных изменений базовой конструкции. Однако с конструкторской точки зрения большинство задач (проблем) возникающих при обратном проектировании являются решаемыми.

ЗАДАЧИ ОБРАТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОСОЗУБЫХ ПЕРЕДАЧ РЕДУКТОРА

Казанцев А.А., Терехин Е.П., Доброван Д.С.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), antonkazantsev81@gmail.com, teryekhin50@mail.ru

Аннотация. В статье описаны основные проблемы, возникающие при обратном проектировании. Описана частная задача для косозубых передач редуктора. Дана классификация задач (проблем) по возможности их решения конструкторскими методами.

Ключевые слова: обратное проектирование; редуктор; основные задачи.

MAIN ISSUES FOR REVERSE ENGINEERING OF GEARBOX

Kazantsev A.A., Terekhin E.P., Dobrovan D.S.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. The article describes the main problems that arise during reverse engineering. A particular problem for a gearbox units is described. The classification of main issues (problems) is given according to the possibility of their solution by design methods.

Keywords: reverse engineering; gearbox; main tasks.

Последние два года были непростыми для горнодобывающей промышленности, потому что сразу после пандемии коронавируса она столкнулась с мощнейшим санкционным давлением, экстренным импортозамещением, вынужденной перестройкой логистических цепочек. Девятый пакет санкций ЕС против России значительно ограничил новые вложения в горнодобывающую отрасль и поддержание работоспособности импортного оборудования, причем ранее поставлялось из-за рубежа в среднем 80% техники, в том числе из западных стран. Для возрождения горного машиностроения на основе собственных станкостроения и электронной промышленности необходимы инвестиции более чем в 25 трлн рублей, а развитие производства и смежных отраслей займет не менее 10 лет по мнению некоторых экономистов.

Начало этой грандиозной работы в импортозамещении заключается в разработке конструкторской документации по имеющимся аналогам изделий или обратном проектировании. Разработка РКД на комплектующие изделия сегодня является приоритетом

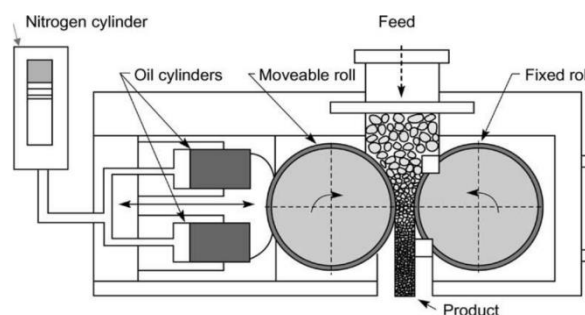
в системе НИР и ОКР на горнорудных предприятиях КМА. Группа конструкторов из ГФ НИТУ «МИСИС» приступила к этой работе в 2022г в подразделениях холдинга «Металлоинвест» и в процессе разработки документации оборудования столкнулась с определенными трудностями на заводах ГБЖ АО «Лебединский ГОК».

Сложной задачей оказалось определение конструктивных, кинематических, энергетических и прочностных параметров оригинального 4-х ступенчатого редуктора привода валков брикет-пресса ЗГБЖ.

Основная задача редуктора заключается в передаче мощности от электродвигателя к валу машины [4]. Особенностью редуктора Eickhoff Antriebstechnik GmbH является то, что он вращает два встречно вращающихся вала брикет-пресса (рис.1), которые формируют брикеты железной руды [1-3].



а)



б)

Рис. 1 – Брикет-пресс: а) общий вид, б) схема работы

Редуктор выполнен по 4-х ступенчатой схеме с дополнительной передачей с передаточным отношением 1 (рис.2). Передача четырёхступенчатого редуктора происходит через четыре цилиндрических ступени с косозубым зацеплением. Шестерни и колёса выполнены из цементируемой стали, закалены, профили зубьев отшлифованы. Корпус выполнен в виде литой конструкции из двух частей. Высоконагруженный редуктор оснащён водяной системой охлаждения масла. Вода и масло в системе охлаждения циркулируют постоянно с расходом приблизительно 60 л/мин и 95 л/мин соответственно. При весе около 20 т. и мощности 622 кВт обеспечивается крутящий момент выходных валов – $109 \cdot 10^3$ Нм с высокими режимными показателями – круглосуточной работе и возможным количеством пусков – 10 в час [4].

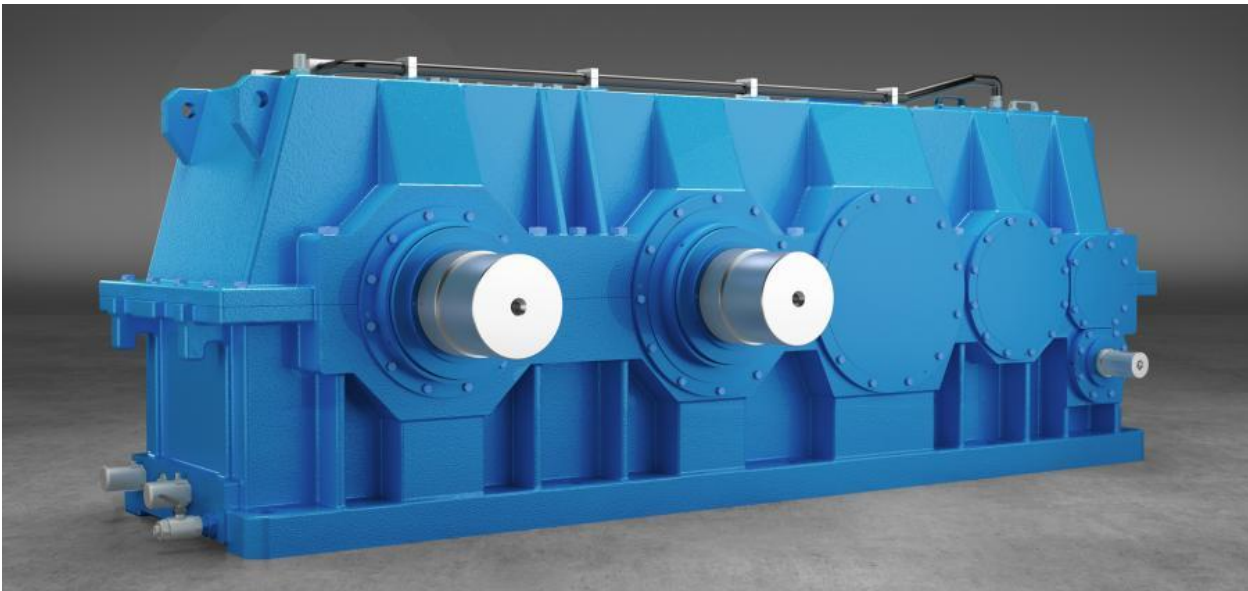


Рис. 2 – Общий вид редуктора брикет-пресса

Задача, поставленная заказчиком обратного проектирования – с учетом имеющегося на складе количества запчастей разработать конструкторскую документацию на валы-шестерни и колеса редуктора. Основная ошибка в постановке задачи заключалась в том, что были выбраны только отдельные зубчатые колеса, а не зубчатые пары. После убеждения заказчика, что косозубые зубчатые колеса необходимо проектировать, изготавливать и заменять парами, задача была скорректирована.

Основной проблемой была ограниченность информации о технических параметрах редуктора. Если зубчатые колеса и валы-шестерни, лежащие на складе, можно было отсканировать или обмерить инструментом, то о межосевых расстояниях передач информации не было. В ремонтную смену нам удалось измерить межосевые расстояния, однако, вопросов к проектированию передачи меньше не стало, т.к. необходим специальный инструмент для измерения межосевых расстояний, либо применение трехмерного сканирования. Но редуктор установлен в темном помещении и сканирование осуществить было невозможно, а перевести двадцати тонный редуктор в освещенное помещение с высотной отметки +40 м., и отмыть его тоже задача не простая, особенно в условиях капитального ремонта, где на счету каждый час и каждый человек. Поэтому межосевые расстояния были измерены приблизительно на не разобранном редукторе.

Расчет передач с помощью САПР Компас и встроенных библиотек расчета редукторов можно произвести тремя способами (рис.3):

- 1) По межосевому расстоянию.
- 2) По коэффициентам смещений.
- 3) По диаметрам вершин зубьев.

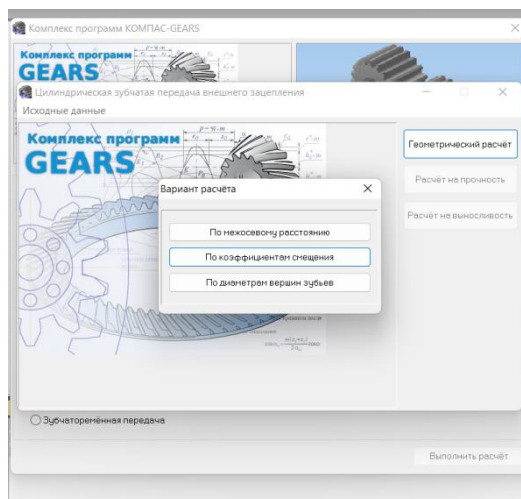


Рис. 3 – Интерфейс библиотеки по расчету механических передач в Компас-3D

Поскольку не было информации о первых двух параметрах, мы начали расчеты по диаметрам вершин зубьев. Этот факт в том числе повлиял на то, что для обратного проектирования понадобились все валы-шестерни и колеса редуктора для обмеров. Однако эта тактика давала разные результаты для разных начальных условий. Первое препятствие, с которым мы столкнулись, определение модуля зубчатой передачи. Поскольку технология производства ГБЖ – Midrex – американская, фирма – изготовитель немецкая, то вполне можно было ожидать использование государственных стандартов других стран. А деление высоты зуба на 2,25 у косозубых колес не всегда дает однозначный результат. Поэтому мы получили определенный массив данных рассчитанных передач, который тоже не давал однозначных ответов, так как получались межосевые расстояния с двумя знаками после запятой. Это существенно расширяло количество возможных вариантов.

Вторая сложность – размеры колес. Некоторые колеса имели диаметр более 1000 мм. От правильного измерения диаметра зависели все остальные параметры обратного проектирования. Отметим, что не все диаметры нам удалось однозначно измерить точно. Особенно это коснулось третьей передачи – там была шестерня с нечетным количеством зубьев. Так или иначе, мы снова пришли к тому, что нужна достоверная информация о межосевом расстоянии зубчатых колес. Частично такая информация нашлась в руководстве по эксплуатации (рис.4).

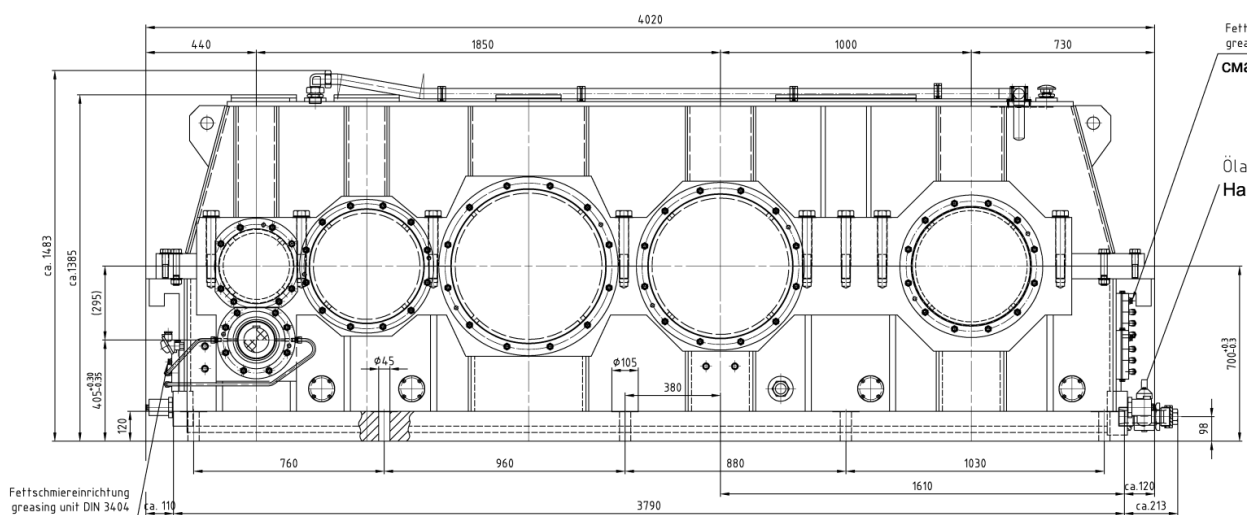


Рис. 4 – Габаритный чертеж редуктора из руководства по эксплуатации

Как видно из рисунка 4 информация о межосевом расстоянии есть только о первой и о последней передаче и суммарно о 2-4 передачах. Это дало основание полагать, что межосевые расстояния выполнены в целых числах без знаков после запятой. Наличие этой информации существенно сужало количество возможных вариантов. В пользу этого заключения говорит и тот факт что на сайте производителя [5] есть указание о том, что эти редуктора хоть и оригинальные, но проектируются под различные нужды. Учитывая тот факт, что корпус редуктора – довольно сложная и ответственная часть и вряд ли будет перепроектироваться под различные межосевые расстояния со знаками после запятой, это предположение было взято за основу. Путем применения масштабных коэффициентов, расчета размерных цепей по рис.4 нам удалось вычислить межосевые расстояния до целых чисел. Поскольку на чертеже была применена метрическая система исчисления, модуль зацепления тоже был принят метрический. Зная углы наклона зубьев, модули и межосевые расстояния нам удалось выполнить расчеты, а подтверждением тому стало совпадение диаметров вершин рассчитанных передач с измеренными и пройденная проверка на подрезание зубьев.

Третья задача заключалась в определении параметров последней передачи с передаточным отношением 1 и межосевым расстоянием 1000 мм. С учетом параметров предыдущих передач и диаметров колес вписать в эти габариты передачу долго не получалось – то межосевое расстояние больше, то число зубьев разное. Однако валки установлены в строгом положении на 1000 мм между осями и должны иметь одинаковое число зубьев, чтобы встречно вращаться с одинаковой угловой скоростью. Задача осложнялась тем, что колеса имеют разный диаметр. Решение данной задачи заключалось в том, что предпоследнее колесо должно было иметь две начальных окружности – одну для сопряжения с вал шестерней и

вторую для колеса другого диаметра. Такая компоновка позволяет спроектировать передачу из двух ступеней, но с тремя колесами в ограниченном пространстве.

Четвертая задача - определение марок сталей. Современные технологии позволяют с помощью мобильного оборудования определять содержание отдельных металлов в сталях и сплавах, однако это не решает задач обратного проектирования полностью, ввиду различия в стандартах по химическому составу, отсутствия зарубежных марок сталей в сортаменте отечественного производителя, разнице технологий получения заготовок и обработки деталей, что приводит к другой микроструктуре металлов и сплавов и не гарантирует абсолютно одинакового срока службы новых изделий. Поэтому на наш взгляд такая задача вторична, хоть и может представлять определенную ценность.

Ввиду юридических ограничений авторы статьи не могут поделиться техническими деталями расчетов, назначения марок материала, расчетов натягов и пр., но отметим, что помимо геометрической составляющей передач, были произведены проверки по условиям прочности, а коэффициенты смещений зубчатых колес получились чуть больше рекомендуемых ГОСТом значений, однако не более 1, что в целом удовлетворяет условиям работоспособности [6] и технологической возможности изготовления зубчатых колес. Также были рассчитаны посадки с натягом для условий работы передач, выполнена рабочая конструкторская документация на изготовление валов и зубчатых колес редуктора.

Выводы

1. С учетом сложившейся геополитической обстановки промышленные предприятия страны столкнулись с новым вызовом времени - поиском альтернативных возможностей получения оборудования и запасных частей для своих производств, в которых доля импортных составляющих является значительной. Предполагаем, что ситуация будет сохраняться довольно продолжительное время.

2. Базовая техническая документация на импортные комплектующие промышленных производств может иметь существенное значение для обратного проектирования, т.к может содержать чувствительную информацию, без которой порой обратное проектирование может быть затруднено или потребует существенных изменений базовой конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bizhanov, Aitber. (2020). Main Types of the Briquetting Technologies in Ferrous Metallurgy.
2. Bizhanov, Aitber. (2022). Briquetting in Metallurgy. DOI:10.1201/9781003027645.

3. Chengtie Wang. Comparison of HPGR - ball mill and HPGR - stirred mill circuits to the existing AG/SAG mill - ball mill circuits. A thesis of master of applied science. THE UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA, Vancouver, 2013. – 180 p.
4. Передача зубчатая цилиндрическая. Инструкция по эксплуатации. Перевод с немецкого. HONSBURG & CO.KG ул. Тентер Вег 2-8, 42897 Ремшайд, 2014 – 488 с.
5. www.eickhoff-bochum.de Официальный сайт.
6. ГОСТ 16532-70 Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления.

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ
НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАТРУБКОВ
НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ**

Кислов С.В.¹, Кислов В.Г.¹, Шаповалов А.И.², Скрипцов Д.Р.²

¹ ООО «Научно-производственный центр «Технологии минеральных покрытий»,
48010, Россия, г. Калуга, ул. Парковая, дом 12 В E-mail: info@mico-tech.com

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
tomt_sti_MISIS@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240

***Аннотация.** В статье приведены результаты исследований прочностных характеристик патрубков насосно-компрессорных труб с нанесенным минеральным покрытием. Приведено сравнение полученных данных со значениями данных характеристик для труб без покрытия.*

Ключевые слова: минеральные покрытия; насосно-компрессорные трубы, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение.

**THE EFFECT OF MINERAL COATING TECHNOLOGY ON THE STRENGTH
CHARACTERISTICS OF TUBING NOZZLES**

Kislov S.V.¹, Kislov V.G.¹, Shapowalow A.I.², Skriptsov D.R.²

¹ SPC Mineral Coating Technologies, LLC

² Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article presents the results of studies of the strength characteristics of the nozzles of pumping and compressor pipes with a mineral coating. The comparison of the obtained data with the values of these characteristics for uncoated pipes is given.*

Keywords: mineral coatings; tubing, tensile strength, yield strength, elongation.

Насосно-компрессорные трубы (далее НКТ) находят широкое применение в нефте- и газодобыче, в качестве компонента магистралей нефтеперерабатывающих заводов,

добывающих шахт, а также в геологоразведке и горном деле при проведении различных буровых работ.

НКТ и их резьбовые части в процессе эксплуатации испытывают значительные комплексные нагрузки. А именно: внутреннее давление среды, изгибающие и скручивающие нагрузки в процессе бурения, значительные контактные напряжения в резьбе при свинчивании и развинчивании, воздействие агрессивной среды как внутри трубы, так и снаружи.

Все это негативно сказывается на длительность эксплуатации насосно-компрессорных труб и других элементов колонны (муфты, переходники). В большинстве случаев (~50%) возникают отказы НКТ, связанные с резьбовым соединением. Все это свидетельствует об актуальности проблемы повышения износостойкости и долговечности труб. Резьбовые части труб НКТ должны, с одной стороны, обеспечивать возможность быстрого свинчивания и развинчивания соединений, но при этом не должно быть нарушения герметичности соединения. Все это вместе с факторами, которые действуют на колонну, способствуют возникновению высоких контактных нагрузок в сопряжении резьба муфты – резьба трубы. Конструкция резьбы также обуславливает наличие высоких контактных напряжений в зоне трибосопряжения при свинчивании и развинчивании колонны.

В результате этого на поверхности резьбы трубы или муфты возникают дефекты в виде задиров, вырывов металла или заклинивания резьбового соединения в следствии схватывания поверхностей, то есть заедание. Изнашивание при заедании представляет собой один из наиболее катастрофических процессов разрушения поверхностей, возникающих в процессе их трения. Уменьшить или исключить заедание деталей можно путем создания надежной защитной прослойки между трущимися телами, препятствующей появлению молекулярного взаимодействия. Уменьшению возможности заедания трущихся деталей способствует применение для их изготовления материалов, не имеющих химического сродства и обладающих антифрикционными свойствами в трибосопряжении.

Одним из способов создания такой барьерной среды на поверхности резьбы может быть применение технологии нанесения комбинированных минеральных покрытий, реализуемых ООО «НПЦ «Технологии минеральных покрытий».

Основные идеи, положенные в основу применения природных минеральных материалов в различных областях техники сформулированы В.И. Вернадским и А.Е. Ферсманом в первой половине 20-го века. Свойства мелкодисперсных минеральных материалов начали изучать в нашей стране, начиная с 30-х годов. Со второй половине 60-х годов, в связи с развитием космонавтики, атомной промышленности, минеральные материалы начали применяться для обеспечения надёжности механизмов и узлов, работающих в экстремальных условиях. В конце 80-х годов были развёрнуты работы по испытанию

технологий на различных группах техники. Работы проводились: на горно-шахтном оборудовании Институт горного дела им. И.Г. Скочинского (Москва); на строительной дорожной технике; на транспортных средствах – трамваи, метрополитен, двигатели внутреннего сгорания (Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова, д.т.н. В.Н. Половинкин) [1]. Научное обеспечение осуществляли, помимо вышеназванных учреждений, ЛИАП – ГУАП, ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, ВИТР, ВСЕГЕИ. Основа инновационной технологии минеральных покрытий для повышения износостойкости металлических деталей была создана в России в период 2009—2013 г. [2].

Здесь нужно подчеркнуть, что технология минеральных покрытий создает не покрытие как таковое, а модифицированный слой глубиной до 50 мкм [3]. Учитывая, что термин «минеральное покрытие» является достаточно распространенным и устоявшимся, используют его, подразумевая под этим термином поверхностный слой металлического образца или детали, обогащенный минералами.

Суть технологии заключается в создании модифицированного слоя, обычно от 5 до 50 мкм от поверхности металла, путем пластического деформирования поверхностного слоя, используя ультразвуковое, механическое воздействие, а также технологические процедуры, охраняемые в режиме ноу-хау, сопровождающее диффузию ультрадисперсных частиц минералов в объем металла [2, 3]. В настоящее время выполнены экспериментальные исследования и используются около 80 видов минеральных материалов для создания многофункциональных минеральных покрытий.

Для определения влияния нанесения минерального покрытия на прочностные характеристики в качестве экспериментального образца был выбран патрубок М73хН73-К L=1000 мм чертеж ССК 001.00015.10 СК, изготовленный ООО «СОЮЗСТРОЙКОМПЛЕКС». Определялись следующие параметры, как для материала патрубка в исходном состоянии, так и при условии наличия на поверхности минерального покрытия: временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение.

Согласно пункта 4.18 ГОСТ 633-80 [4] испытание на растяжение должно проводиться по ГОСТ 10006-80 [5] на коротких продольных образцах. Для проведения испытаний и определения требуемых параметров из средней части патрубка были вырезаны восемь образцов. Длина образцов составляла 200 мм, ширина 10 мм.

На четырех образцах на поверхности, которая составляла внешнюю сторону трубы (патрубка), в средней части образца на участке длиной 100 мм было нанесено минеральное покрытие.

Испытание на растяжение проводились в испытательной лаборатории АО «КЗАЭМ» г. Калуга с применением машины испытательной Sinitest DF13.105D (свидетельство о поверке

№С-ДЮП/23-06-23/256712903, срок действия до 22.06.2024г.).

В соответствии с паспортом изделия на патрубок М73хН73-К, в технических характеристиках не указана марка материала, а указана только группа прочности материала К. Согласно пункта 4.8 ГОСТ Р 52203-2004 [6] механические свойства материала труб для группы прочности К следующие: временного сопротивления σ_v не менее 687 Н/мм², предела текучести σ_T не менее 491 Н/мм² и не более 600 Н/мм², относительного удлинения не менее 14%.

Если рассматривать внешний вид зоны разрыва образцов, то можно с уверенностью утверждать, что вид и характер разрушения (растяжения и разрыва) у образцов с покрытием и без идентичны. Фотографии с увеличением участка в месте разрушения образцов приведены на рис. 1.

Анализ полученных результатов испытаний по значению временного сопротивлению показывает, что предел прочности для образцов без покрытия и образцов с нанесенным минеральным покрытием практически идентичен. Для образцов без покрытия он находится в диапазоне от 745 до 775 Н/мм², для образцов с минеральным покрытием – от 755 до 775 Н/мм².

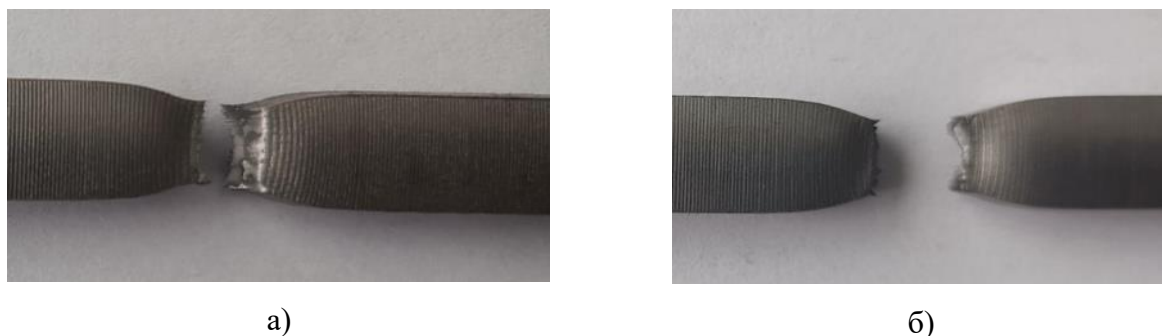


Рис. 1 – Образцы после испытания на растяжение: а) – образец с нанесенным минеральным покрытием; б) – образец без покрытия

Полученные значения предела текучести для образцов с минеральным покрытием и без также практически идентичны: для образцов без покрытия - в диапазоне от 640 до 670 Н/мм², для образцов с минеральным покрытием – от 650 до 670 Н/мм².

При этом полученные в результате механических испытаний результаты определения относительного удлинения отличаются для разных образцов. Если для образцов без покрытия этот показатель практически идентичен и составляет 12,0 и 12,5%, то для образцов с минеральным покрытием он колеблется в диапазоне от 9 до 12,2%.

Сопоставление полученных в ходе проведения механических испытаний значений временного сопротивления σ_v , предела текучести σ_T и относительного удлинения с регламентированными значениями, указывает на определенное несоответствие свойств

материала ниппеля патрубка и ГОСТ Р 52203-2004 [6]. Если по значению временного сопротивления полученные значения коррелируются с нормативными, то по значениям предела текучести и относительного удлинения значения для образцов без покрытия, а также для образцов с покрытием, отличаются от заявленных. Исходя из того, что данные отличаются от нормативных и у образцов без покрытия, то это говорит только о свойствах материала патрубка.

Выводы:

1. Полученные в результате механических испытаний результаты указывают на то, что нанесение минерального покрытия не оказывает какого-либо влияния на значения предела прочности σ_b и предела текучести σ_T . Это объясняется тем, что покрытие нанесено на незначительном участке поперечного сечения образца.

2. Нанесение минерального покрытия оказывает влияние на значение относительного удлинения, снижая его. При этом нет постоянного фиксированного значения снижения данного показателя. Он колеблется от незначительного снижения, которое может объясняться статистическими отклонениями, до уменьшения на более чем 20%. Это объясняется тем, что технология получения минеральных покрытий предусматривает ультразвуковую поверхностную обработку, на покрытой поверхности создаются остаточные напряжения сжатия.

3. С учетом того, что применение минеральных покрытий увеличивает ресурс эксплуатации ответственных деталей оборудования, а исследованиями установлено, что нанесение минеральных покрытий не оказывает значительного влияния на значения предела прочности σ_b и предела текучести σ_T , то применение минеральных покрытий может являться перспективным направлением повышения ресурса ответственных деталей в нефтегазовой, горнорудной и металлургической промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Половинкин, В.Н. Нанотехнологии в судостроении / В.Н. Половинкин. – СПб.: ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», 2009, 132 с.

2. Способ формирования комбинированного минерального поверхностного слоя на металлических деталях, защищающего их от воздействия агрессивных сред и с заданными триботехническими свойствами : пат. 2421548 Рос. Федерация / С. В. Кислов, В. Г. Кислов, С. Ю. Лазарев ; заявл. 2009142259/02 ; опубл. 18.11.2009.

3. Кислов С. В. Эффективные минеральные покрытия для упрочнения поверхности металлических материалов / С. В. Кислов, В. Г. Кислов, А. В. Сказочкин, Г. Г. Бондаренко, А. Н. Тихонов // Металлы. — 2015. — № 4. — С. 56—63.

4. ГОСТ 633-80 Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия. - М.: Стандартиформ, 2010. - 31 с.
5. ГОСТ 10006-80 Трубы металлические. Методы испытания на растяжение. - М.: Стандартиформ, 2010. - 12 с.
6. ГОСТ Р 52203-2004 Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 53 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В УСТРОЙСТВЕ
ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Кудинов Е.А., Владимиров А.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
tomt_sti_MISIS@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240*

***Аннотация.** В статье в роли объекта исследования выступает расчет конструкции устройства вибрационного точения. Целью работы является определение жесткости, устойчивости и прочности проектируемой конструкции устройства вибрационного точения на основании статического расчета.*

Ключевые слова: метод конечных элементов; статический расчет; конечно-элементную сетка; внутренние напряжения; карта результатов.

**MODELING AND EVALUATION OF INTERNAL STRESSES IN A VIBRATION
TURNING DEVICE USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

Kudinov E.A., Vladimirov A.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** In the article, the object of study is the calculation of the design of a vibration turning device. The purpose of the work is to determine the rigidity, stability and strength of the designed structure of a vibration turning device based on static calculations.*

Keywords: finite element method; static calculation; finite element mesh; internal stresses; results map.

Введение

Проектирование и конструирование различных изделий на сегодняшний день не обходится без предварительных моделирования и расчетов макетов и приближенных моделей готового продукта. Для этих целей используются различные САПР как узконаправленные, так и более примитивные, и простые в освоении. Кроме того, большую популярность получил

метод конечных элементов – способ расчета конструкции изделия, в котором оно разделяется на трехмерную сетку из простых элементов, подвергаемых различным воздействиям извне. [1] Этот способ позволяет обнаружить узкие места конструкций, недостаточную прочность того или иного материала, нерациональное или опасное взаимное расположение элементов в готовом изделии или его узле.

В данной исследовательской работе рассматривается расчет проектируемого устройства вибрационного точения на предмет жесткости, устойчивости и прочности его конструкции и отдельных ее элементов. При проведении расчета будет использована конечно-элементная сетка и результаты статического расчета напряжений и перемещений рассматриваемой конструкции.

Основная часть

Для проектирования устройства вибрационного точения предварительно была разработана его 3D-модель, представленная на рисунке 1. Это позволило определить недостатки конструкции и изменять детали и узлы конструкции.

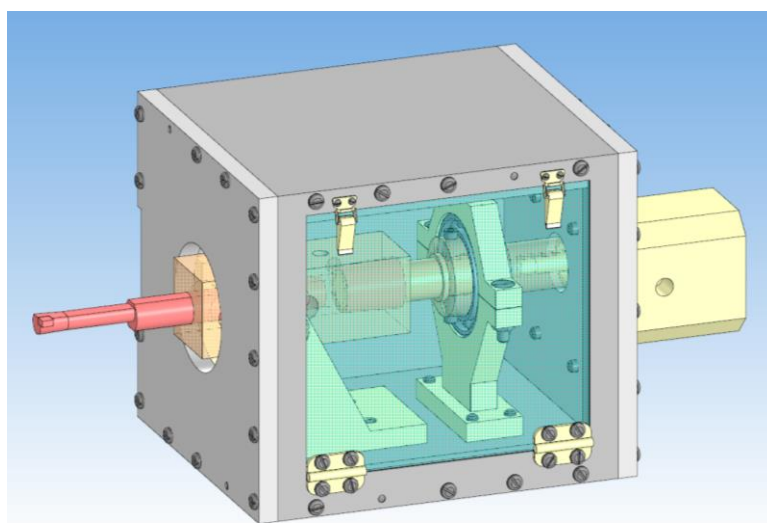


Рис. 1 – 3D-модель проектируемого устройства вибрационного точения

Следующим шагом проектирования и расчета модели устройства были расчеты на статические нагрузки для определения проблемных зон в конструкции устройства.

Для этого использовался модуль САПР КОМПАС-3D для метода конечных элементов (МКЭ) встроенный в последние версии этого программного обеспечения. Этот модуль позволяет производить различные расчеты с широкими диапазонами исходных данных, начиная от точечной нагрузки и заканчивая окружающей температурой рассчитываемой модели. [4] Функциональность этого модуля несколько ограничена, в сравнении с

профильными САПР для проведения расчетов методами конечно-элементного анализа, но для расчета технологичности проектируемых конструкций в статических условиях его функций достаточно.

Для расчета на 3D-модель устройства была наложена трехмерная сетка конечных элементов, с размерами стороны элемента от 1 до 3 мм и формой 4-узловых тетраэдров. [2] Полученный результат разбиения модели на конечные элементы представлен на рисунке 2.

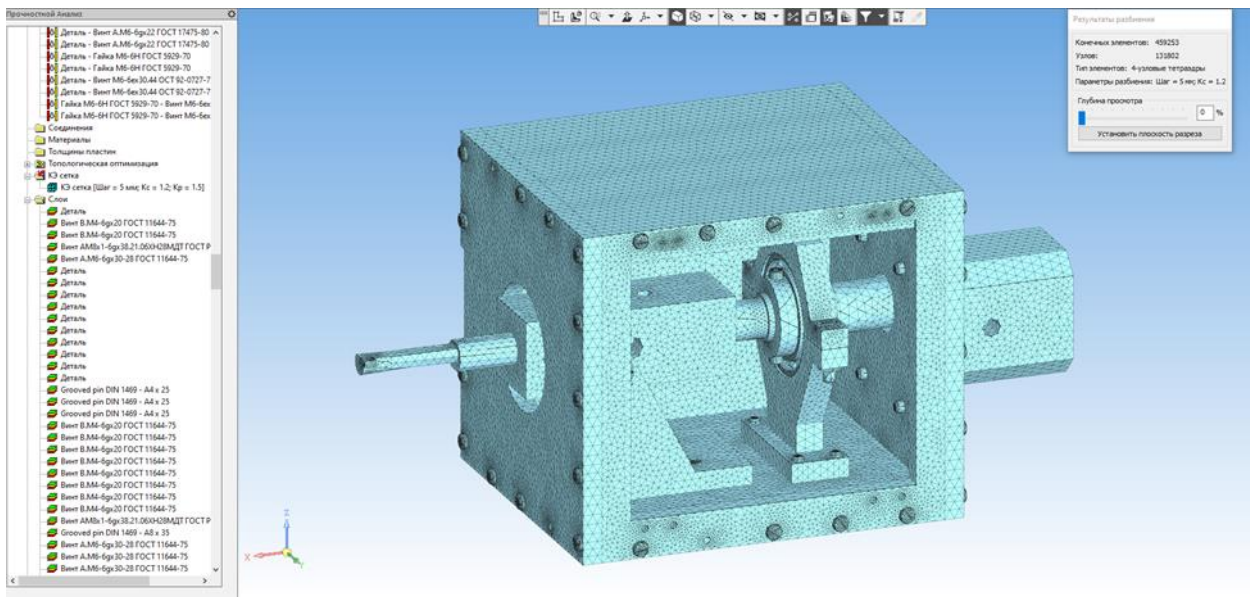


Рис. 2 – Разбиение геометрии рассчитываемого устройства на конечно-элементную сетку

Для расчета к спроектированной конструкции устройства прикладывались нагрузки, напряжения и противодействующие им закрепления элементов конструкции. В роли нагрузок выступали веса всех деталей устройства с небольшими допущениями. [5] Они прикладывались в виде распределенной нагрузки ко всем граням корпуса, включая также и дно. Закрепление производилось по граням установочной планки, которая в свою очередь закрепляется в резцедержателе станка при работе устройства.

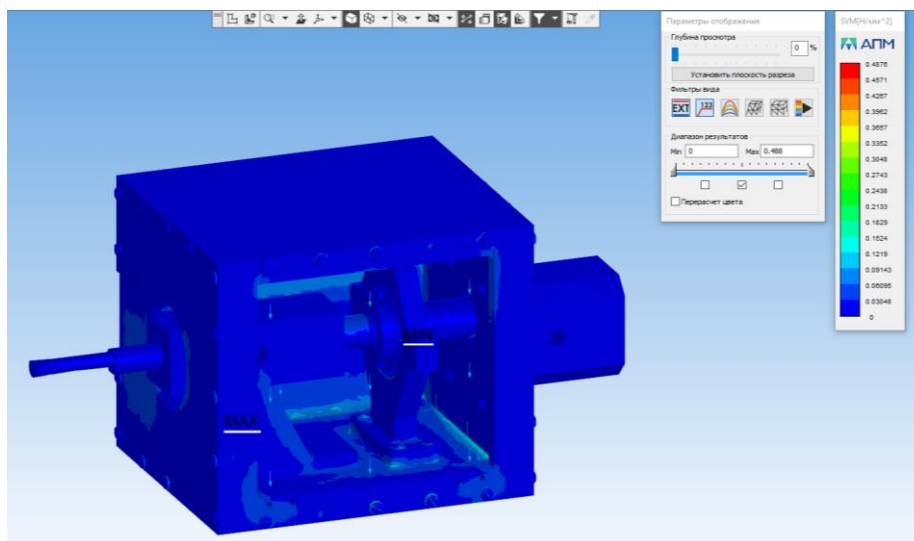


Рис. 3.А – Значения напряжений в конструкции устройства после статического расчета
(Вид спереди)

Расчет модели производился для определения внутренних напряжений и перемещений в конструкции. На рисунках 3.А и 3.Б представлены значения напряжений в конструкции, в областях зон с максимальными значениями величина напряжений равна $0,19 \text{ Н/мм}^2$. [3] Такие значения напряжения наблюдаются на верхней грани установочной планки и на гранях дна корпуса – так как эти детали в конструкции воспринимают весь ее вес.

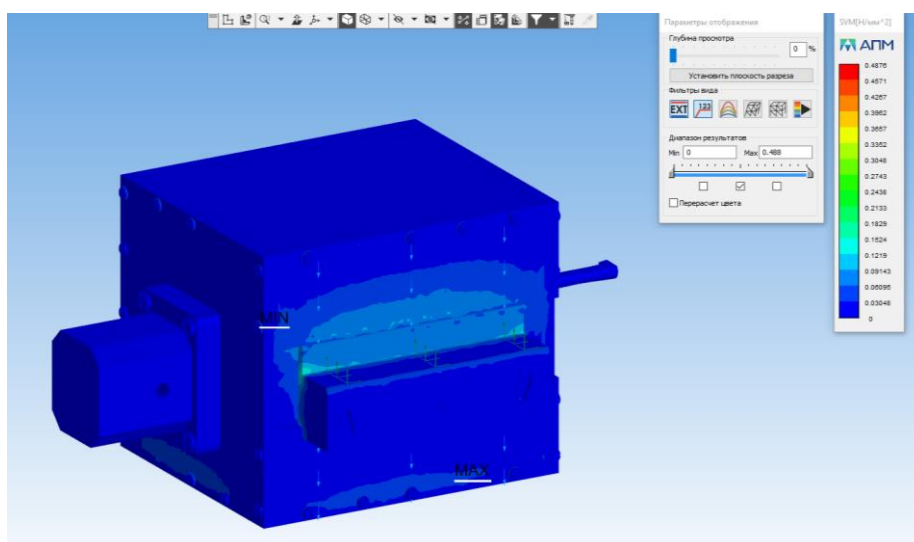


Рис. 3.Б – Значения напряжений в конструкции устройства после статического расчета
(Вид сзади)

На рисунках 4.А и 4.Б приведена следующая карта результатов расчета – перемещения конструкции под действием приложенных нагрузок. На рисунке 4.А отчетливо видна зона максимальных значений этого параметра – стойка с радиальным подшипником качения.

Максимальные значения перемещения наблюдается там вследствие принятия подшипником крутящего момента от вала гидромотора и гашения его излишних вибраций и биений для более «чистого» вращения дальнейших элементов цепочки передачи механической энергии.

Также зоны сравнительно больших значений наблюдается в центре дна корпуса, площадь в которой сконцентрировано множество крепежных отверстий элементов конструкции. Максимальное значение перемещения в данной карте результатов имеет величину 0,078 мкм – что не может вызвать серьезных деформаций и смещений в конструкции и обуславливается наличием вибраций при пуске/останове гидромотора и образующемуся крутящему моменту на выходном валу.

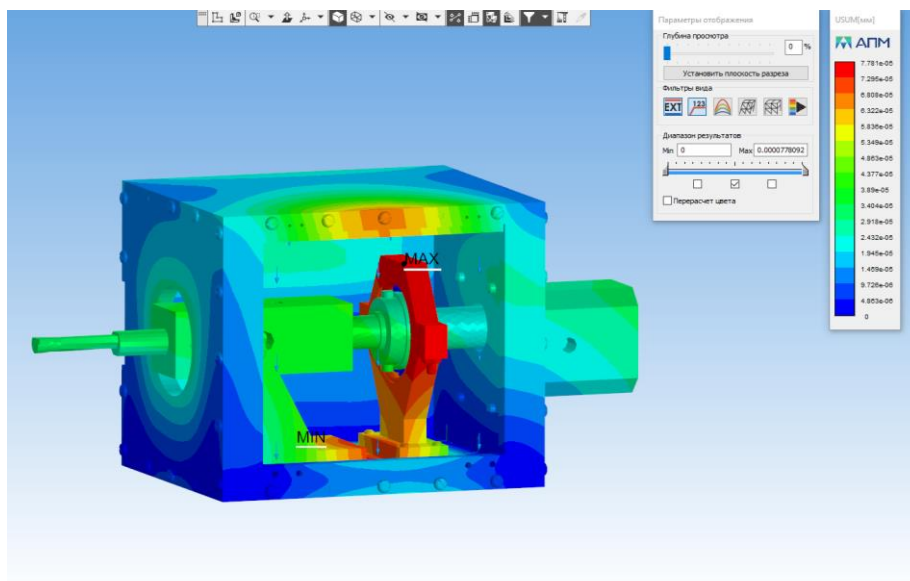


Рис. 4.А – Значения перемещений в конструкции устройства после статического расчета
(Вид спереди)

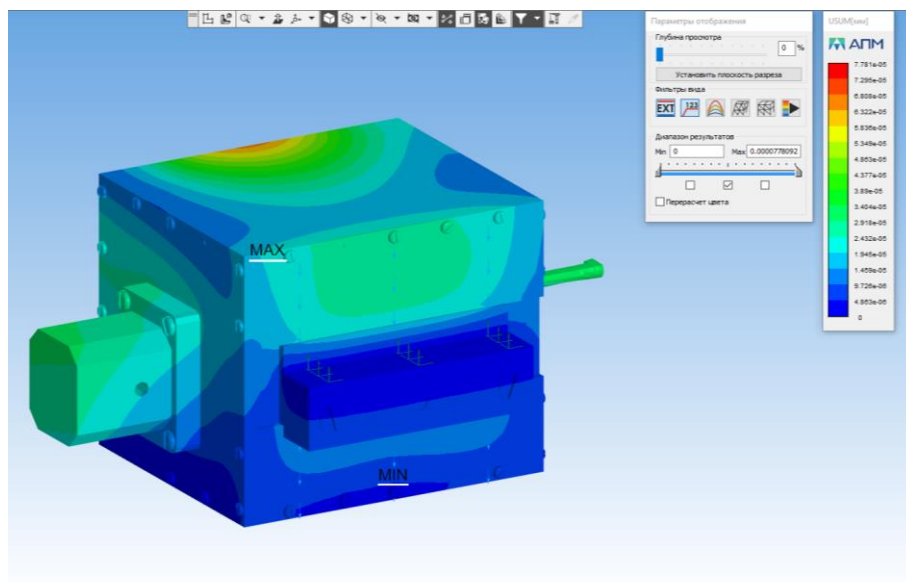


Рис. 4.Б – Значения перемещений в конструкции устройства после статического расчета
(Вид сзади)

Заключение

В ходе проведения исследования по моделированию и расчету напряжений в конструкции проектируемого устройства были получены карты результатов на основании статического расчета. Эти результаты позволили определить максимальные значения напряжений в конструкции – $0,48 \text{ Н/мм}^2$ и перемещений – $0,078 \text{ мкм}$. На нормальное функционирование и эксплуатацию разрабатываемого устройства эти изменения в конструкции не повлияют, а их возникновение определяется общим весом изделия и динамическими воздействиями вращающегося вала гидромотора.

После проведенных расчетов можно также сделать выводы о том, что нет необходимости увеличивать количество или качество разъемных соединений конструкции, толщину стенок корпуса или взаимное расположение элементов генерации и преобразования механического движения.

Финансовая поддержка

Работа выполнена при финансовой поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» рамках договора (соглашения) № 17543ГУ/2022 от 29 апреля 2022 г. о предоставлении гранта на выполнение научно-исследовательских работ и оценку перспектив коммерческого использования результатов в рамках реализации инновационного проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шимкович Д. Г. / Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов / Дмитрий Шимкович. - М.: ДМК Пресс, 2008. - 423 с.
2. Даутов Р.З., Карчевский М.М. / Введение в теорию метода конечных элементов. Учебное пособие. — Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2004. — 239 с.
3. Дмитриев А. М., Воронцов А. Л. Надежность метода конечных элементов // Справочник. Инженерный журнал - 2004 - №6 - с. 12-13.
4. Зенкевич О. С. / Метод конечных элементов в технике. Монография. – М. Изд. «МИР», 1975. – 542 с.
5. Морозов Е. М., Никишков Г. П. / Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: «Либроком», 2020. – 254 с.

**РАСЧЕТ ВЕЛИЧИН ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ НАИБОЛЕЕ
НАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА
ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ**

Кудинов Е.А., Владимиров А.А., Макаров А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
tomt_sti_MISIS@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240*

***Аннотация.** В статье в роли объекта исследования выступает процесс моделирования статических расчетов нагруженных элементов конструкции устройства вибрационного точения. Целью работы является анализ расчетных карт напряжений и перемещений элементов конструкции и возможные пути снижения этих величин.*

Ключевые слова: статический расчет; внешние силы; запас прочности; концентраторы напряжений.

**CALCULATION OF DISPLACEMENTS AND DEFORMATIONS OF THE MOST
LOADED ELEMENTS IN THE DESIGN OF A VIBRATION TURNING DEVICE**

Kudinov E.A., Vladimirov A.A., Makarov A.V.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** In the article, the object of study is the process of modeling static calculations of loaded structural elements of a vibration turning device. The purpose of the work is to analyze the calculated maps of stresses and displacements of structural elements and possible ways to reduce these values.*

Keywords: static calculation; external forces; safety factor; stress concentrators.

Введение

Для современных процессов конструирования и проектирования конструкций различных механизмов, узлов и отдельных деталей характерны предварительные расчеты и моделирования в различных САПР комплексах на предмет наличия недостатков геометрии и взаимного расположения элементов конструкции, концентраторов напряжений и прочих

конструктивных ошибок. Эти тенденции позволяют исключить из процесса проектирования большинство этапов с созданием предварительных и пробных вариантов исполнения того или иного узла механизма, заменяя их 3D-моделями реальных объектов. [1] Для спроектированных таким образом моделей возможно задание любых свойств и технико-механических характеристик, ограниченным только возможностью программного обеспечения в котором проектируется модель.

В данной исследовательской работе будут представлены результаты статических расчетов со сгенерированными моделями особо нагруженных деталей устройства вибрационного точения перед их изготовлением в металле. В картах результатов расчетов содержится информация о возникающих внутренних деформациях и перемещениях под действиями приложенных нагрузок.

Основная часть

В предыдущей статье серии исследований по моделированию статических расчетов конструкции устройства вибрационного точения был произведен расчет собранной конструкции. Это исследование посвящено моделированию и расчету нагрузок в отдельных деталях этой конструкции, а именно самых нагруженных ее элементов.

Обособленный расчет максимально нагруженных элементов конструкции позволяет заблаговременно определить их способность или неспособность выдерживать прикладываемые к ним внешние силы и моменты сил. [3] Для такого расчета были выбраны две наиболее нагруженные детали в устройстве – корпус и установочная планка. Эти элементы воспринимают максимальные нагрузки от веса остальных элементов конструкции и должны обладать достаточным запасом прочности и жесткости, чтобы исключить аварийные ситуации во время эксплуатации проектируемого устройства.

Для статического расчета корпуса устройства наложим на него конечно-элементную сетку с разбиением объема элемента на 4-узловые тетраэдры, такой глубины дробления тела модели достаточно для расчетов напряжений и перемещений. [2] Конечно-элементная сетка корпуса представлена на рисунке 1.

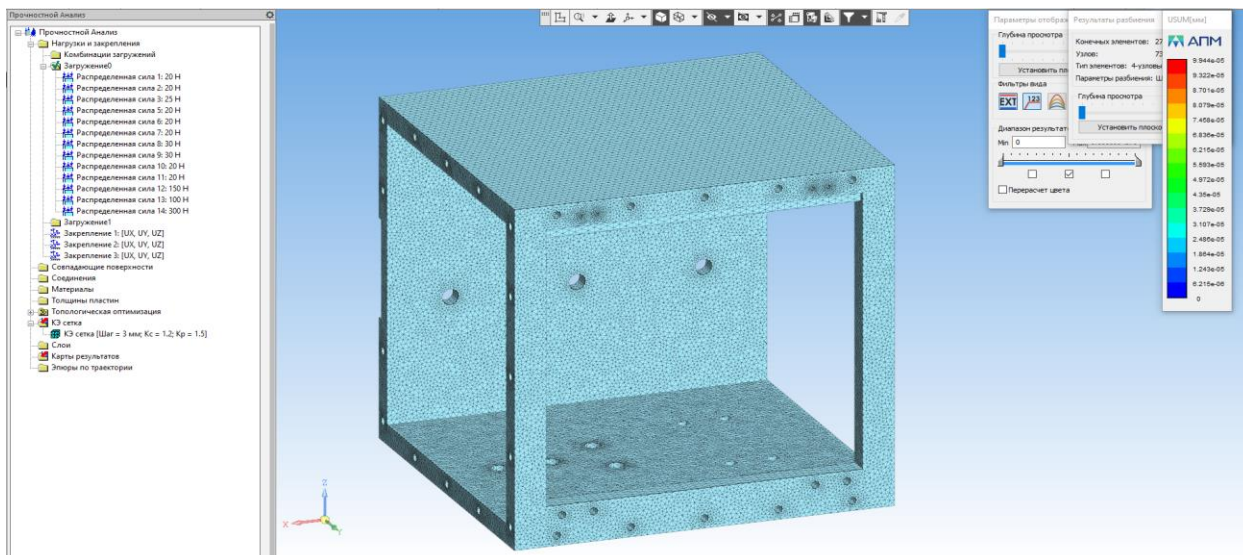


Рис. 1 – Конечно-элементная сетка корпуса устройства вибрационного точения

После разбиения модели на отдельные элементы производился статический расчет для определения внутренних напряжений и перемещений конструкции в неиспользуемом состоянии, для определения недостатков конструкции и концентраторов напряжения.

Рисунки 2.А и 2.Б демонстрируют зоны распространения внутренних напряжений внутри стенок корпуса устройства. Максимальные значения напряжений равны $0,98 \text{ Н/мм}^2$ и располагаются в углах дна корпуса, где винтовыми соединениями собираются 3 детали корпуса вместе. Расположение максимальных значений внутренних напряжений в этой точке обусловлено восприятием дном корпуса общих нагрузок от веса стенок корпуса и их давления на соединительные винты. такое значение внутренних напряжений не является опасным для создания аварийной ситуации при работе устройства, значит увеличение толщины стенок корпуса или расстояния между крепежными отверстиями не требуется. [4]

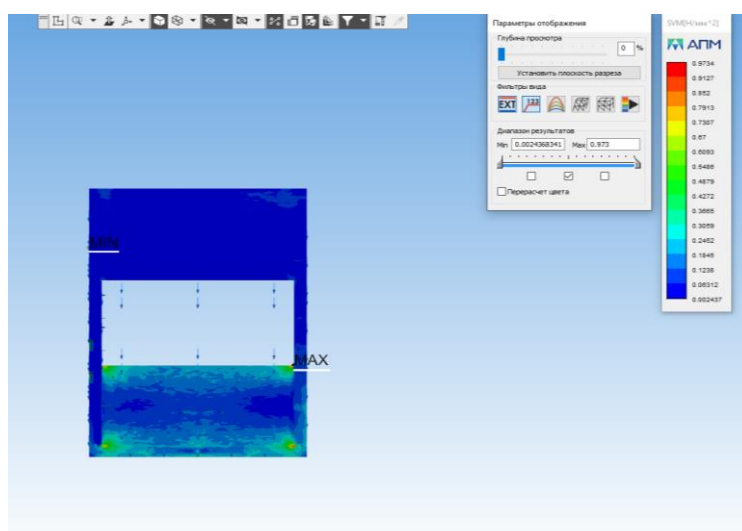


Рис. 2.А – Значения напряжений в корпусе устройства после статического расчета

(Вид спереди)

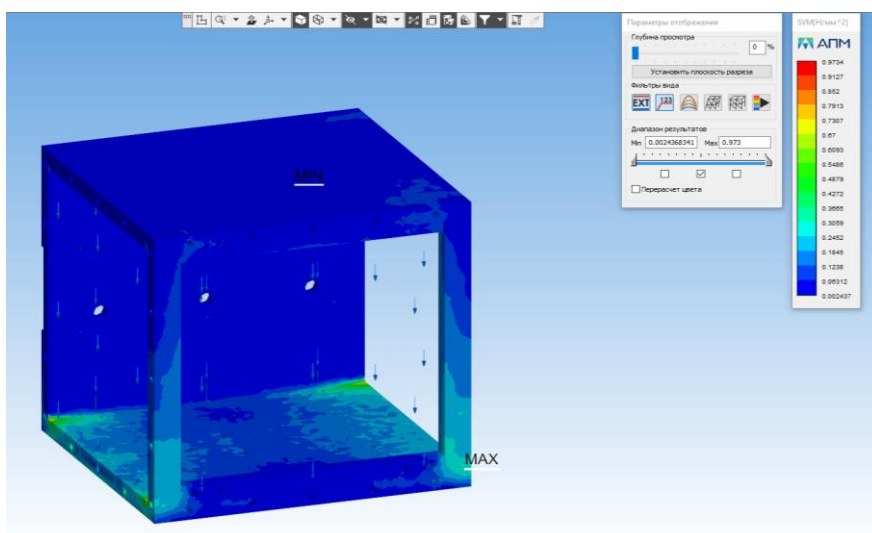


Рис. 2.Б – Значения напряжений в корпусе устройства после статического расчета
(Вид сбоку)

Следующей картой результатов являются перемещения элементов корпуса устройства. На рисунках 3.А и 3.Б показаны области максимальных перемещений, расположенных на передней и задней гранях дна корпуса. Расположение максимальных значений обусловлено воздействием на дно корпуса весами боковых стенок и наличием концентраторов напряжений в виде крепежных отверстий. Максимальные значения объемных перемещений дна корпуса составляют 0,67 мкм, что является предельно малым значением изменения геометрии конструкции корпуса.

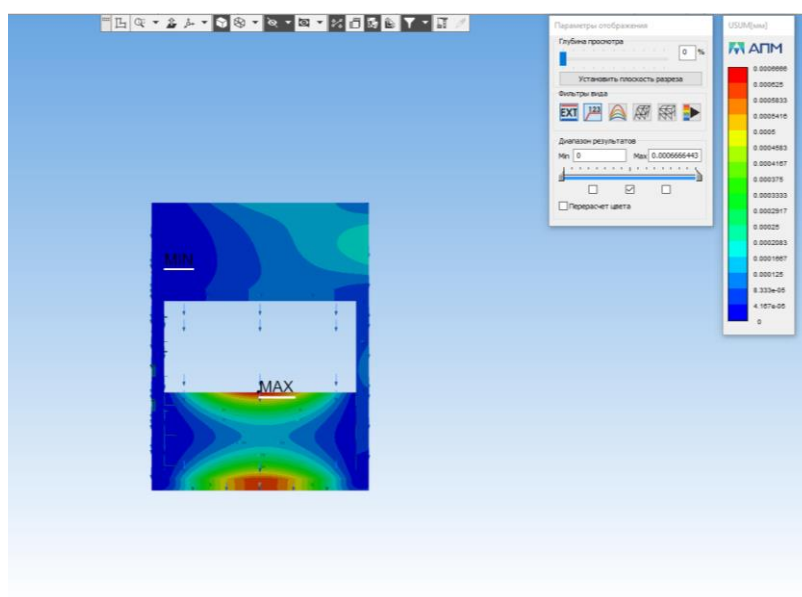


Рис. 3.А – Значения перемещений в корпусе устройства после статического расчета
(Вид спереди)

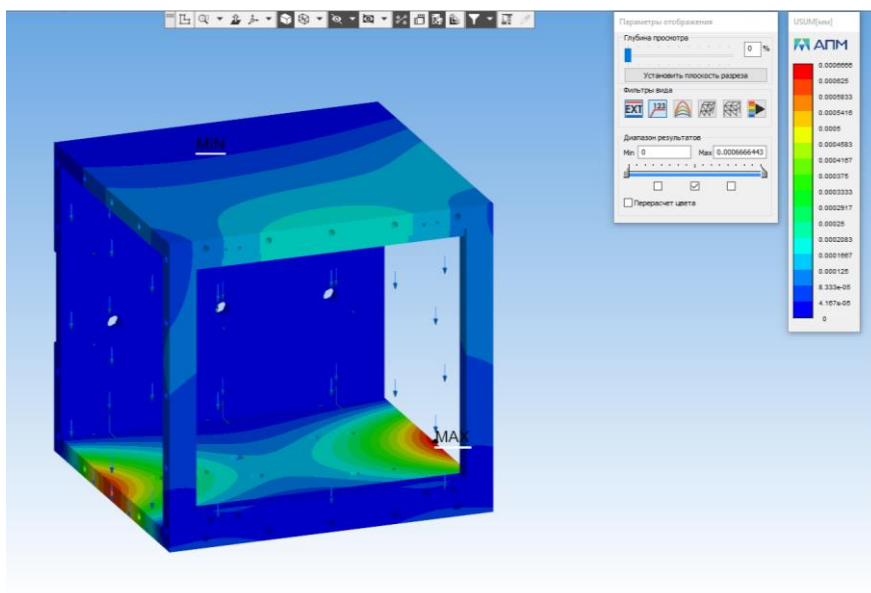


Рис. 4.А – Значения перемещений в корпусе устройства после статического расчета
(Вид сбоку)

Следующим элементом, для которого проводился расчет, была установочная планка – она воспринимает все нагрузки от веса устройства и является самым нагруженным элементом в конструкции. Закрепление планки производится в резцедержателе станка, следовательно, к этим плоскостям прикладывается закрепление по всем трем координатным осям. Области закрепления представлена на рисунке 4.

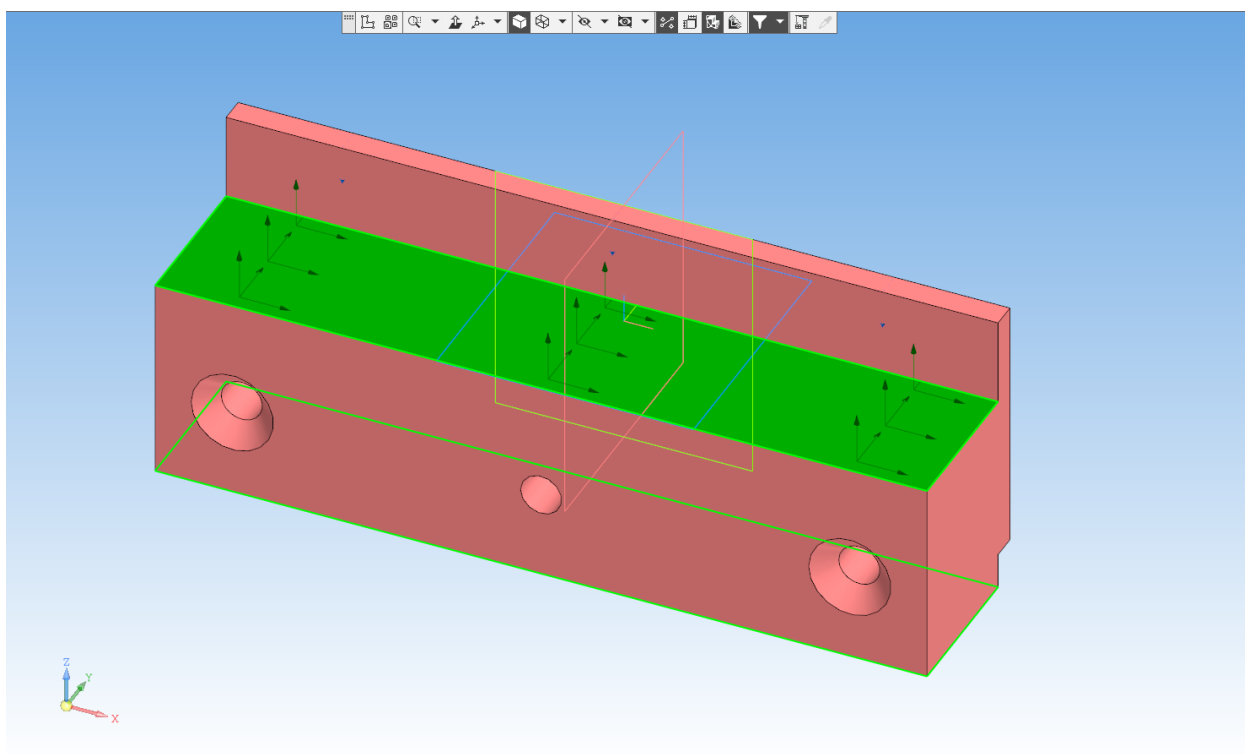


Рис. 4 – Грани моделирования закрепления установочной планки

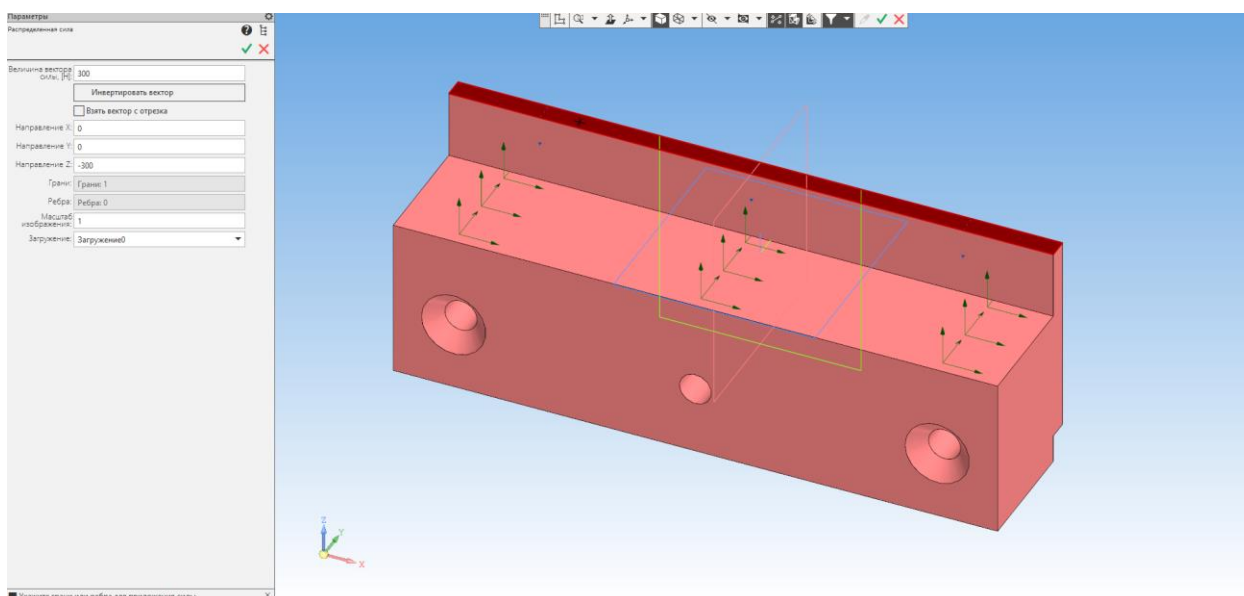


Рис. 5 – Нагрузки от веса устройства на опорную грань установочной планки

На установочную планку при эксплуатации и простое действует сила веса всей конструкции устройства вибрационного резания. Вес устройства составляет около 26 кг, для расчета округленно примем 30 кг или 300 Н, соблюдая таким образом небольшое требование к запасу прочности элемента конструкции. Грань, которой прикладывается распределенная нагрузка показана на рисунке 5.

Далее установочная планка также отсекалась на сетку элементов для проведения статического расчета, которая представлена на рисунке 6. После чего проводился расчет для определения внутренних напряжений и перемещений установочной планки под действием нагрузки от веса конструкции устройства.

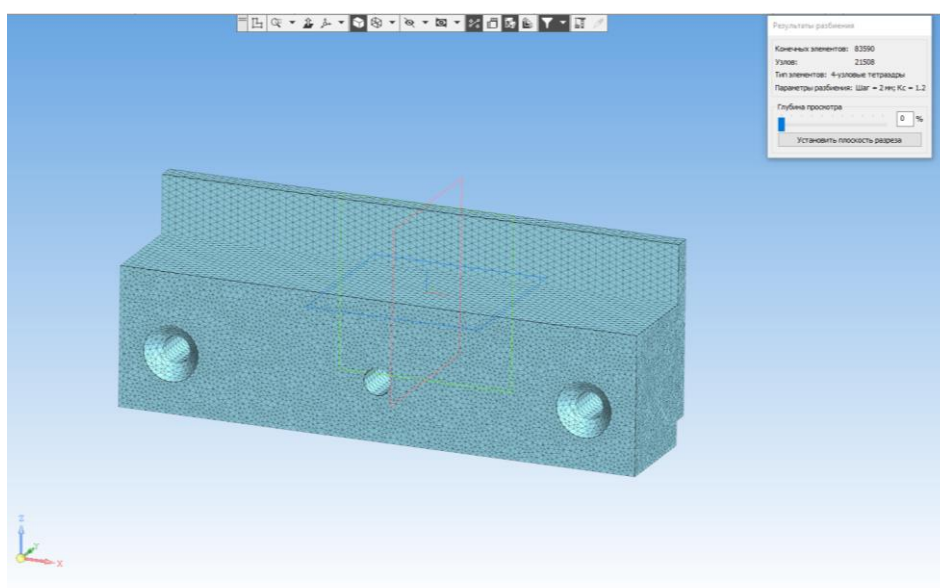


Рис. 6 – Конечно-элементная сетка установочной планки устройства вибрационного точения

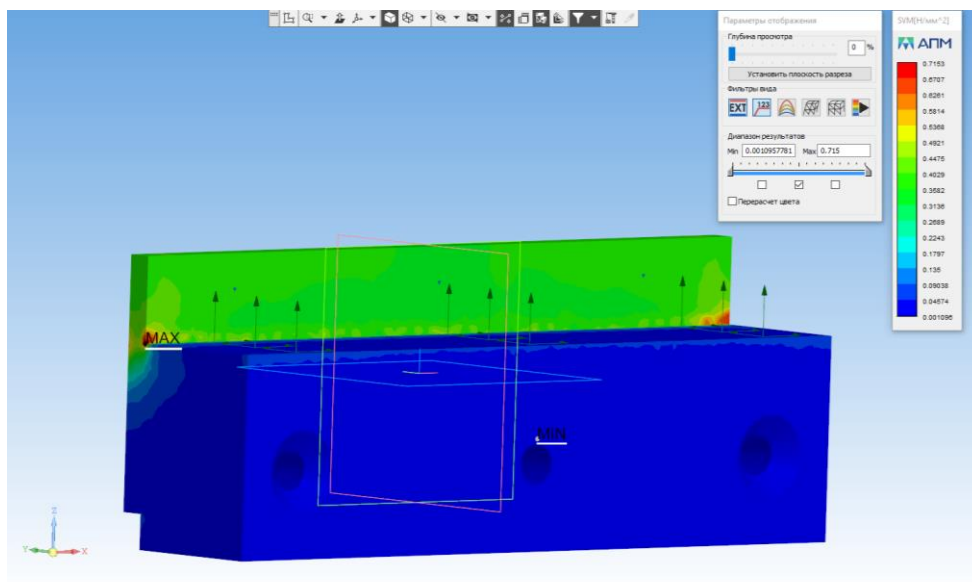


Рис. 7.А – Значения напряжений в установочной планке устройства после статического расчета (Вид спереди)

Результаты в виде карты результатов внутренних напряжения изображены на рисунках 7.А и 7.Б. Максимальные значения напряжения располагаются в крайних нижних углах установочной плоскости и составляют $0,71 \text{ Н/мм}^2$. Эти зоны напряжения являются концентраторами напряжения и для их устранения требуется добавление сопрягаемого радиуса между поверхностями закрепления и нагружения установочной планки.

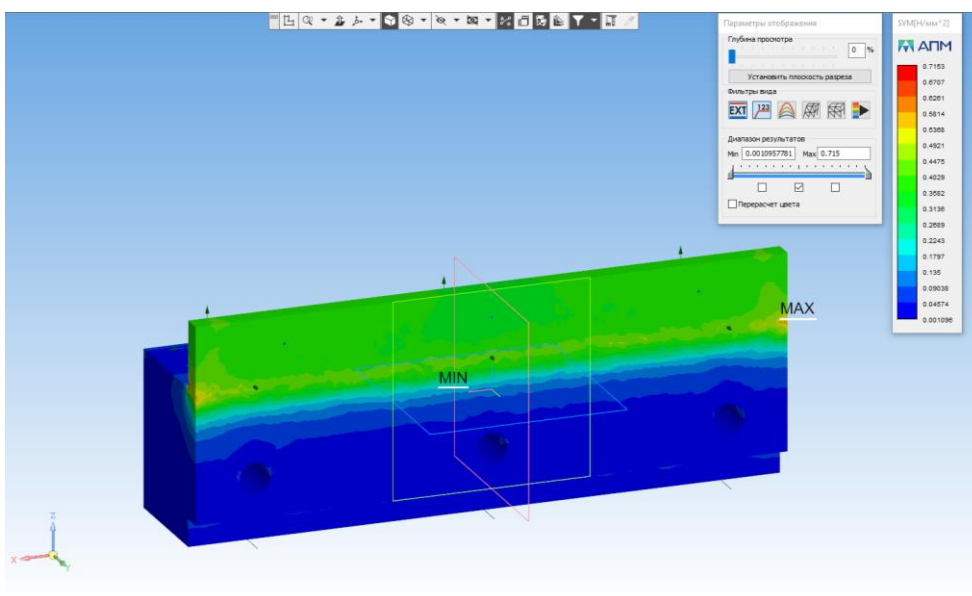


Рис. 7.Б – Значения напряжений в установочной планке устройства после статического расчета (Вид сзади)

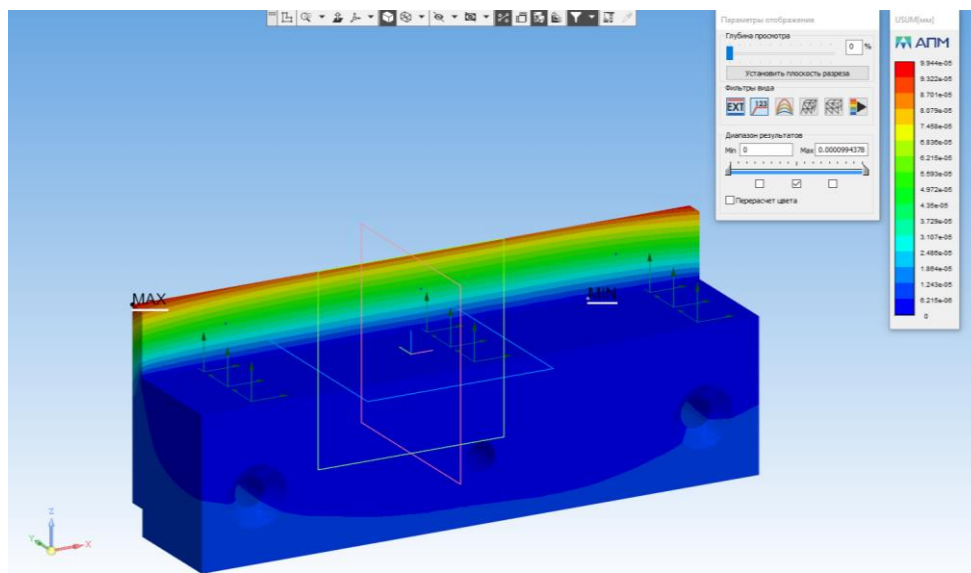


Рис. 8.А – Значения перемещений в установочной планке устройства после статического расчета (Вид спереди)

На рисунках 8.А и 8.Б отображена карта результатов расчета перемещений нагружаемой грани установочной планки. Максимальные деформации поверхности наблюдаются в верхних слоях материала и составляют 0,099 мкм. Такая величина деформаций не будет влиять на уровень наклона оси устройства в достаточной мере. Конструктивным решением по уменьшению зоны и величины перемещений будет увеличение толщины опорной грани, что снизит нагрузку на 1 мм^2 поверхности установочной планки и как следствие величину деформационных перемещений под действием веса устройства. [5]

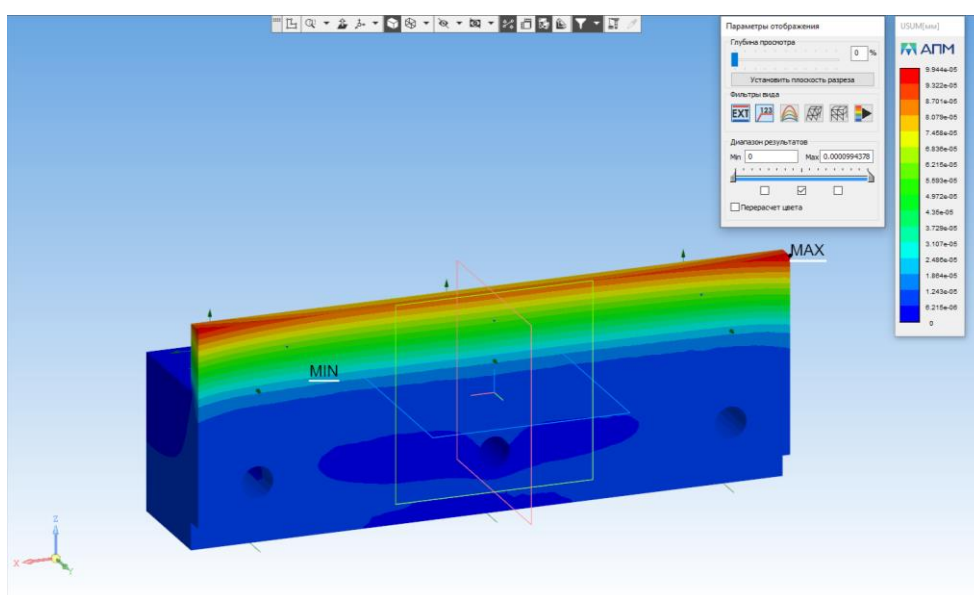


Рис. 8.Б – Значения перемещений в установочной планке устройства после статического расчета (Вид спереди)

Заключение

В ходе проведения статических расчетов для наиболее нагруженных деталей устройства вибрационного точения было определено, что они выдержат воспринимаемые нагрузки от веса всей конструкции. Максимальные значения величин внутренних напряжений и перемещений после расчетов не были недостаточно большими для изменения статического равновесия и геометрической формы исследуемых элементов конструкции.

На основании карт результатов внутренних напряжений и деформационных перемещений этих элементов конструкции были определены концентраторы напряжений и предложены варианты их устранения перед изготовлением устройства в металле.

Финансовая поддержка

Работа выполнена при финансовой поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» рамках договора (соглашения) № 17543ГУ/2022 от 29 апреля 2022 г. о предоставлении гранта на выполнение научно-исследовательских работ и оценку перспектив коммерческого использования результатов в рамках реализации инновационного проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шимкович Д. Г. / Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов / Дмитрий Шимкович. - М.: ДМК Пресс, 2008. - 423 с.
2. Даутов Р.З., Карчевский М.М. / Введение в теорию метода конечных элементов. Учебное пособие. — Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2004. — 239 с.
3. Дмитриев А. М., Воронцов А. Л. Надежность метода конечных элементов // Справочник. Инженерный журнал - 2004 - №6 - с. 12-13.
4. Зенкевич О. С. / Метод конечных элементов в технике. Монография. – М. Изд. «МИР», 1975. – 542 с.
5. Морозов Е. М., Никишков Г. П. / Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: «Либроком», 2020. – 254 с.

**ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ НАПЛАВОЧНОЙ
ПРОВОЛОКИ ASM 4430-SA, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТУГОПЛАВКИМИ
КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОЛИКОВ РОЛЬГАНГА
ПРОКАТНОГО СТАНА**

Макаров А.В., Владимиров А.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
tomn_sti_MISIS@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240*

***Аннотация.** Статья посвящена разработке технологии восстановления методом электродуговой наплавки роликов наплавочной проволокой ASM 4430-SA, модифицированной тугоплавкими компонентами. В процессе работы была изготовлена экспериментальная порошковая проволока и разработана комплексная технология восстановления, включающая в себя предварительную механическую обработку, термическую обработку перед наплавкой, наплавку, последующую термическую обработку и окончательную механическую обработку. Проведены промышленные испытания роликов рольганга, восстановленных методом электродуговой наплавки порошковой проволокой.*

Ключевые слова: электродуговая наплавка; порошковая проволока; наплавленный слой; твердость; износостойкость; рольганг; ролики рольганга.

**ON THE EXPERIENCE OF USING EXPERIMENTAL SURFACING WIRE
ASM-4430-SA MODIFIED WITH REFRACTORY COMPONENTS FOR THE
RESTORATION OF ROLLER ROLLERS OF A ROLLING MILL**

Makarov A.V., Vladimirov A.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article is devoted to the development of a recovery technology by electric arc welding of rollers with ASM 4430-SA, welding wire modified with refractory components. In the process, an experimental powder wire was manufactured and a comprehensive recovery technology was developed, including pre-machining, pre-surfacing heat treatment, surfacing, subsequent heat treatment and final machining. Industrial tests of roller rollers restored by the method of electric arc*

welding with powder wire have been carried out.

Keywords: electric arc welding; powder wire; deposited layer; hardness; wear resistance; roller; roller rollers.

На основании проведенного анализа, результатов теоретических исследований и испытаний образцов в лабораторных условиях было принято решение по восстановлению опытной партии роликов рольганга с применением технологии электродуговой наплавки под слоем флюса Alfa Mag Ф-500 проволокой ASM 4430-SA.

Исходя из анализа свойств выбранных материалов, для проведения объективных испытаний и оценки их результатов перед проведением опытного восстановления и упрочнения ролики были подготовлены в условиях лаборатории восстановления и упрочнения горного и металлургического оборудования СТИ НИТУ «МИСИС». Диаметры роликов были предварительно обработаны на токарном станке до диаметра, исключающего наличие дефектного слоя на восстанавливаемой поверхности.

Технология восстановления методом электродуговой наплавки опытной партии роликов рольганга заключалась в предварительной механической обработке роликов перед наплавкой (для удаления дефектного слоя металла) (рисунок 1), предварительный подогрев перед черновой наплавкой проволокой 30ХГСА, черновая наплавка проволокой 30ХГСА (рисунок 2), для восстановления размеров, отпуск после черновой наплавки, предварительный подогрев перед финишной наплавкой порошковой проволокой, финишная наплавка порошковой проволокой ASM 4430-SA (рисунок 3), последующий отпуск после финишной наплавки и окончательная механическая обработка (рисунок 4).



Рис. 1 – Ролик перед черновой обработкой



Рис. 2 – Ролик после черновой наплавки проволокой 30ХГСА



Рис. 3 – Ролик после финишной наплавки порошковой проволокой



Рис. 4 – Ролики после окончательной механической обработки

Общая технологическая схема нанесения износостойких покрытий представлена на рисунке 5.

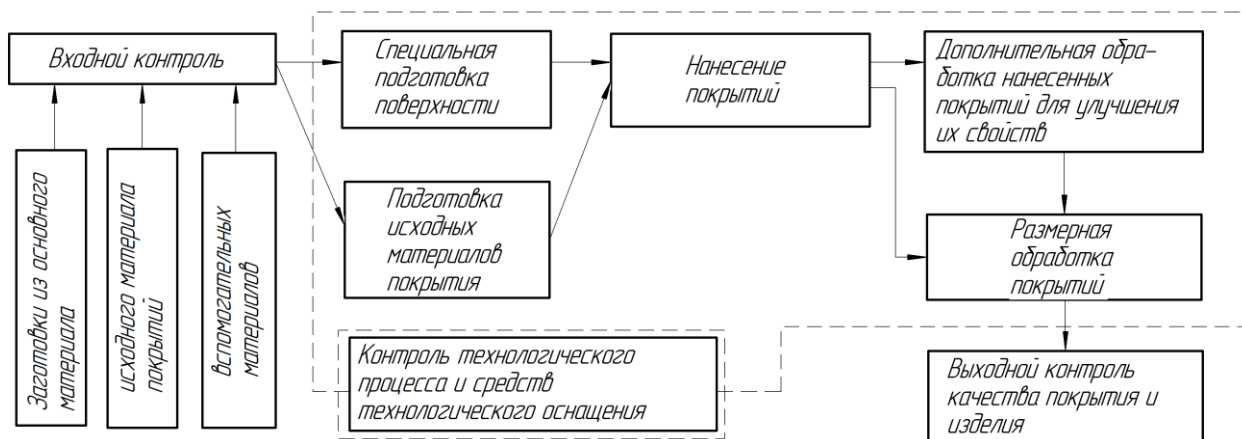


Рис. 5 – Технологическая схема нанесения износостойких покрытий

В период проведения капитального ремонта оборудования 3 ролика рольганга были установлены на рольганг.

В ходе обследования и замеров за 9,3 месяца выявлено следующее:

- ролик №3 – имеется локальный износ по диаметру рабочей поверхности шириной – 30 мм., глубиной – 4,0 мм (рисунок 6);
- ролик №4 - имеется локальный износ по диаметру рабочей поверхности шириной – 30 мм., глубиной – 2,9 мм (рисунок 7);
- ролик №5 - имеется локальный износ по диаметру рабочей поверхности шириной – 30 мм., глубиной – 2,45 мм (рисунок 8);



Рис. 6 – Внешний вид ролика №3 за 9,3 месяца эксплуатации

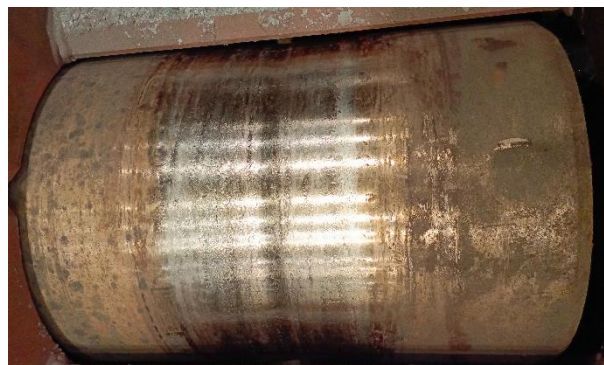


Рис. 7 – Внешний вид ролика №4 за 9,3 месяца эксплуатации



Рис. 8 – Внешний вид ролика №5 за 9,3 месяца эксплуатации

Согласно технического задания фактическая стойкость роликов без упрочнения рабочей поверхности составляет: 20 мм на сторону за 8 месяцев эксплуатации. Исходя из этого следует, что износостойкость увеличилась для:

- ролика №3 – в 5,8 раза;
- ролика №4 – в 8,0 раз;
- ролика №5 – в 9,5 раза.

С учетом увеличения стойкости роликов восстановленных с применением разных технологий и материалов, а также с учетом парка наплавочного оборудования рекомендовано прежде всего рассматривать применение электродуговой наплавки под слоем флюса AlfaMag Ф-500 проволокой ASM 4430-SA.

Внедрение технологии электродуговой наплавки под слоем флюса Alfa Mag Ф-500 проволокой ASM 4430-SA потребует только приобретения проволоки.

Таким образом, на данном этапе, исходя из фактического увеличения износостойкости роликов от 1,5 до 84,2 раза, рекомендуется дальнейший мониторинг величины фактического износа роликов при проведении текущих ремонтов рольганга.

Обобщая полученные промежуточные результаты промышленных испытаний, стоит отметить, что комплексная технология восстановления методом электродуговой наплавки порошковой проволокой, модифицированной тугоплавкими компонентами, позволяет повысить износостойкость деталей и увеличить межремонтный интервал оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кащенко Ф.Д. Восстановление наплавкой роликов МНЛЗ // Металлургические машины и процессы (теория и практика) Сборник научных трудов. — Магнитогорск: МГТУ, 1998, С. 13-16.
2. Малинов В.Л., Малинов Л.С. Структура и износостойкость хромомарганцевого наплавленного металла // Автоматическая сварка. – 2012. – № 7 (711). – С. 13-18.
3. Соколов Г.Н., Зорин И.В., Артемьев А.А., Литвиненко-Арьков В.Б., Дубцов

Ю.Н., Лысак В.И., Харламов В.О., Самохин А.В., Цветков Ю.В. Особенности формирования структуры и свойств наплавленных сплавов под влиянием наночастиц тугоплавких соединений // Физика и химия обработки материалов. – 2014. – № 2. – С. 38-47.

4. Степнов К.К., Матвиенко В.Н., Олдаковский А.И. Модифицирование среднехромистого наплавленного металла // Автоматическая сварка. – 2011. – № 8. – С. 12-14.

5. Жудра А.П. Наплавочные материалы на основе карбидов вольфрама // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – С. 69-74.

6. Бондарчук Н.А., Умеренков В.Н., Вольпов М.Л. Улучшение технологических характеристик прокатных валков с помощью наплавки и электроискрового легирования // Современные способы наплавки их применение / под ред. И.И. Фрумина. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1982. – С. 118-120.

7. Рудюк А.С., Бардусов В.Н., Фока Н.М., Пирч А.П., Дука И.А. Увеличение эксплуатационной стойкости прокатных валков стана 650 // Сталь. – 1990. – № 7. – С. 71-72.

8. Шебаниц Э.Н., Омеляненко Н.И., Куракин Ю.Н., Матвиенко В.Н., Лещинский Л.К., Дубинский Б.Е., Степнов К.К. Повышение трещиностойкости и сопротивления износу наплавленных рабочих валков горячей прокатки // Metallurg. – 2012. – № 8. – С. 72-75.

ИМПРЕГНИРОВАНИЕ АЛЮМИНИДНЫХ МЕТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СТОЙКОСТИ

Невежин С.В.¹, Герасимов А.С.¹, Беликов С.В.², Балин А.Н.³

¹ ООО «ВВСТ», Россия, 111123, г. Москва, ш. Энтузиастов, д. 31, e-mail: vvstmsk@mail.ru;

² ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Россия, 620002, г. Екатеринбург, Мира 28, e-mail: s.v.belikov@urfu.ru;

³ ЗАО «ЗСМ», Россия, 623703, г. Берёзовский, Западная Промзона, 18.

Аннотация. Исследованы структура и служебные свойства металлизационных покрытий на основе алюминида железа Fe_3Al после импрегнирования (пропитки) недефицитными составами, такими как кремнезоль, алюмосоль и фосфатное связующее.

Изменение массы образцов покрытий до импрегнирования по результатам термогравиметрических испытаний при $800^\circ C$ составило 5% от исходной массы, в то время как после импрегнирования - не более 2%.

Ключевые слова: дуговая металлизация; порошковая проволока; импрегнирование; высокотемпературная стойкость.

IMPREGNATION OF ALUMINIDE ARC SPRAYED COATINGS TO INCREASE THEIR HEAT RESISTANCE

Nevezhin S.V.¹, Gerasimov A.S.¹, Belikov S.V.², Balin A.N.³

¹ VVST LLC, Russia, 142108, Podolsk, Borodinsky Boulevard, 2, e-mail: vvstmsk@mail.ru;

² Ural Federal University, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira, 28, e-mail: s.v.belikov@urfu.ru;

³ ZSM CJSC, Russia, 623703, Berezovsky, Western Industrial Zone, 18.

Abstract. The structure and properties of arc sprayed iron aluminide Fe_3Al coatings after impregnation with non-deficient compounds such as silica sol, alumina sol and phosphate binders has been studied.

The change in the mass of the coating samples after impregnation and tests at $800^\circ C$ was no more than 2% of the initial mass.

Keywords: arc spraying; cored wire; impregnation; heat resistance.

Введение

Графитированные электроды являются одним из важнейших расходных материалов

металлургической промышленности. Расход графитированных электродов при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) складывается из бокового окисления (до 67 % от общего расхода) и поломок электродов (30 % от общего расхода) [1, 2], при этом затраты на графитированные электроды могут превышать 15% от себестоимости производства стали [3].

Импрегнирование широко используется для повышения термостойкости изделий из графита [4], в том числе графитированных электродов [5-7], однако, не позволяет, само по себе, обеспечить достаточную стойкость к окислению при высоких температурах и снизить расход электродов более чем на 10...15% [8].

Сотрудниками компании ООО «ВВСТ», совместно с лабораторией «Структурных методов анализа и свойств материалов и наноматериалов» ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» и с компанией ЗАО «ЗСМ», была осуществлена разработка порошковых проволок [9], технологии дуговой металлизации, а также импрегнирования алюминидных покрытий, для повышения стойкости покрытий к воздействию высоких температур и снижения окисления и расхода графитированных электродов при выплавке/обработке стали до 30%.

Методика

Осуществлялось тестирование недефицитных импрегнирующих составов, таких как кремнезоли, алюмозоли, фосфатные связующие и др. на образцах покрытий, нанесенных при токе 500 А и напряжении дуги в 28 В из порошковой проволоки диаметром 2 мм, соответствующей по составу стехиометрическому алюминиду железа Fe_3Al (содержание алюминия 13,87 масс. % [9]).

В связи с отсутствием в литературе рекомендаций по обоснованию оптимального состава и методов проведения пропитки для обеспечения даже кратковременной стойкости металлизационных покрытий к окислению при температурах свыше 1000°C в качестве импрегнирующих составов были выбраны алюмозоль по ТУ 2163-007-61801487-2009, кремнезоль Nanosil 40MF по ТУ 20.13.62-003-36426128-2022 и фосфатное связующее АХФС по ТУ 6-18-166-83, благодаря их невысокой стоимости и широкому применению в металлургии [10, 11].

Нанесение металлизационных покрытий осуществлялось на шлифованную поверхность образцов диаметром 60 мм высотой 120 мм, изготовленных для исследования структуры и свойств покрытий из графитированных электродов марки ЭГ-25 ТУ 14-139-177-2018 диаметром 75 мм, производства АО «ЧЭМК».

Благодаря этому в процессе охлаждения покрытия происходило его отделение от шлифованной электродов и исключалось влияние частиц графита на поверхности образцов

покрытия на изменение его массы в ходе высокотемпературных испытаний вследствие выгорания графита.

Импрегнирование образцов покрытия осуществлялось путем их погружения в выбранные составы и выдержки в течение одной минуты при атмосферном давлении и комнатной температуре, сушка образцов металлизационного покрытия после импрегнирования производилась в электропечи КЕДР ЭП-10 при температуре 60°C в течение одного часа.

Резку образцов покрытий после импрегнирования осуществляли на электроэрозионном отрезном станке ECOCUT. Запрессовку образцов осуществляли при помощи прессы для горячей запрессовки образцов Struers CitoPress-20 и смолы PolyFast, поперечные металлографические шлифы готовили на шлифовально-полировальном станке Struers LaboPol-5.

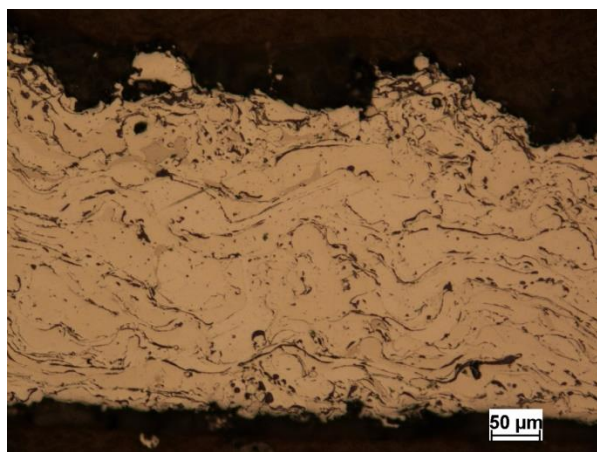
Исследования структуры защитных покрытий проводили с помощью оптического микроскопа Nikon Epihot 200 и растрового электронного микроскопа JEOL JSM 6490 с приставкой для рентгеноспектрального микроанализа Oxford Inca.

Для определения процентного изменения массы покрытий в исходном состоянии и после пропитки проводились термогравиметрические испытания при температуре 800°C на приборе синхронного термического анализа Netzsch STA 449 C Jupiter в окислительной атмосфере воздуха при продувке рабочей части весов аргоном с потоком 11 мл/мин.

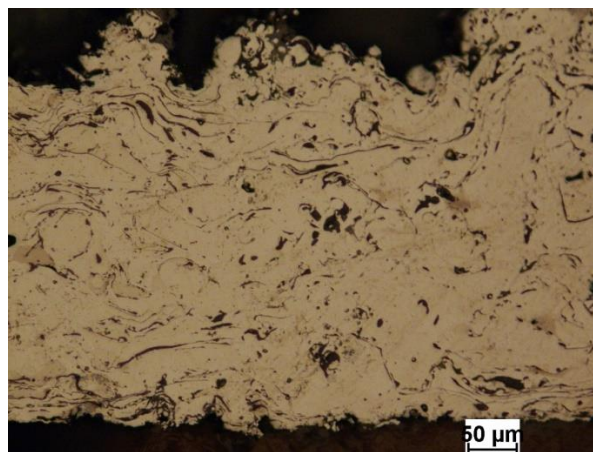
Для выравнивания температурного поля печи предварительно произведен нагрев до 35° С со скоростью 1 К/мин с выдержкой при этой температуре 15 мин. Скорость нагрева до 800° С - 10 К/мин, выдержка при этой температуре – 8 часов. Далее охлаждение до комнатной температуры со скоростью 20 К/мин, общая продолжительность испытаний составляла 100 часов.

Результаты и обсуждение

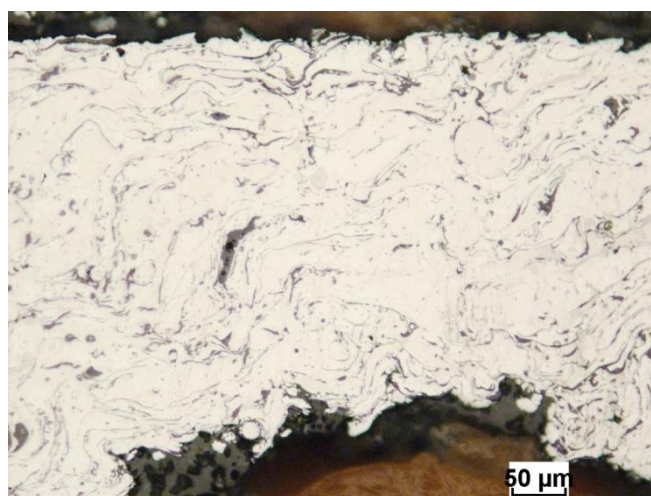
Снимки с оптического микроскопа поперечного сечения образцов покрытий, нанесенных при токе 500 А и напряжении дуги в 28 В из проволоки с содержанием алюминия до 10 мас.% диаметром 2,0 мм после импрегнирования кремнезолом Nanosil 40MF, алюмосилом и фосфатным связующим АХФС приведены на Рис. 1.



а



б



в

Рис. 1 – Снимки поперечного сечения образцов покрытий, после импрегнирования а) кремнезолом Nanosil 40MF, б) алюмозолом, в) фосфатным связующим АХФС

Рентгеноспектральный микроанализ также не позволил достоверно оценить распределение пропитывающих составов в сечении покрытий, что может быть обусловлено как сложностью выявления частиц со средним диаметром 8,6 нм в сечении покрытия в случае его импрегнирования, например, кремнезолом Nanosil 40MF, так и недостаточной глубиной проникновения в случае применения, например, фосфатного связующего АХФС с высокой плотностью.

По результатам исследования структуры принято решение о доработке технологии импрегнирования покрытий из порошковых проволок и необходимости проведения расширенных исследований, в том числе, применения рентгеноструктурного фазового

качественного анализа поверхности покрытий после нанесения пропитывающих составов для оценки их распределения по поверхности покрытий.

Изменение массы образцов покрытий после импрегнирования алюмозолом, кремнезолом Nanosil 40MF и фосфатным связующим АХФС и выдержки при температуре 800°C в течение 100 ч составило 1,85, 2,34, и 2,29% соответственно, Рис. 2.

Изменение массы исходного покрытия составило 5,06%, что демонстрирует целесообразность дальнейшего применения технологии импрегнирования покрытий из порошковых проволок для повышения их стойкости к воздействию высоких температур.

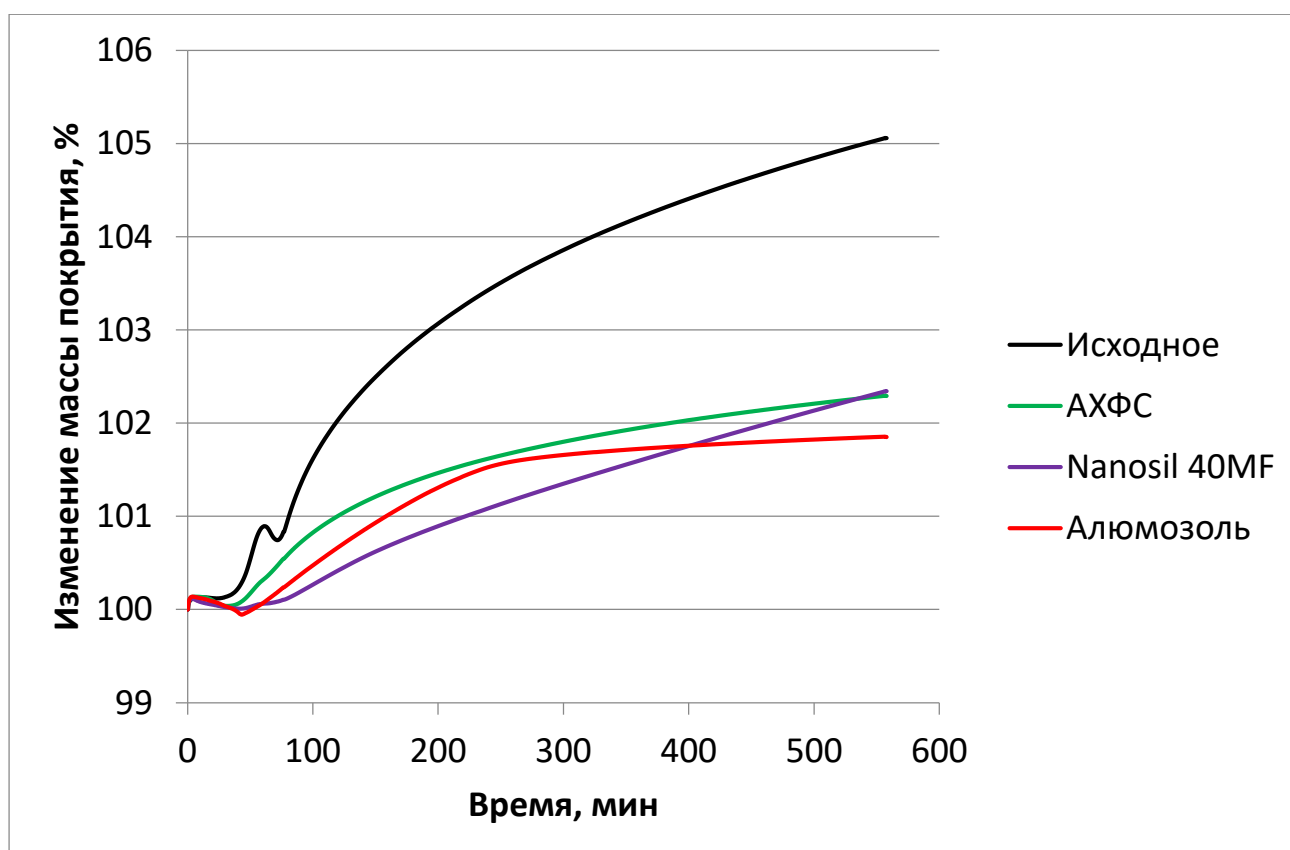


Рис. 2 – Изменение массы покрытий при температуре 800°C 100 ч из проволоки с содержанием алюминия до 10 мас.% после импрегнирования различными составами

Выводы

При помощи растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа исследована структура покрытий, нанесенных при токе 500 А и напряжении дуги в 28 В из порошковой проволоки диаметром 2 мм, соответствующей по составу стехиометрическому алюминиду железа Fe₃Al после их импрегнирования недефицитными составами, такими как кремнезоль, алюмозоль, фосфатное связующее.

При помощи рентгеноспектрального микроанализа не удалось достоверно оценить распределение указанных пропитывающих составов в сечении образцов покрытий, что может быть обусловлено как сложностью выявления частиц со средним диаметром 8,6 нм в сечении покрытия в случае его импрегнирования золями, так и недостаточной глубиной проникновения в случае применения фосфатных связующих с высокой плотностью.

В ходе дальнейших исследований необходимо применение рентгеноструктурного фазового качественного анализа поверхности покрытий после нанесения пропитывающих составов для оценки их распределения по поверхности покрытий.

Изменение массы образцов покрытий после импрегнирования и выдержки при температуре 800°C в течение 100 ч более чем в два раза ниже, чем изменение массы исходного алюминидного покрытия, что демонстрирует целесообразность дальнейшего применения технологии импрегнирования покрытий из порошковых проволок для повышения их стойкости к воздействию высоких температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апалькова, Г.Д. и др. Эксплуатация графитированных электродов на предприятиях металлургического комплекса России. Проблемы и пути их решения // Металлургия. 2002. № 10. С. 146-148
2. Bowman B. Optimum use of electrodes in arc furnaces // MPT Metallurgical Plant and Technology, Volume 6(1). 1983, pp. 30-39
3. Храпко С.А и др. Производство стали в ДСП: конспект лекций // Донецкий национальный технический университет, 136 с.
4. Нодрюхин А.Д. и др. Повышение термостойкости изделий из терморасширенного графита // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. Вып. 8. С. 49-56
5. Alian Moghadam, H. et al. Effects of TiO₂/SiC/SiO₂ coating on graphite electrode consumption in sublimation and oxidation states as determined by EAF simulation and experimental methods // Surface and Coatings Technology, Volume 420, 2021, P. 127340
6. A kind of graphite electrode coating and preparation method // CN110072308A 30.07.2019
7. Conductive antioxidant paint and graphite electrode // US20040023021A1 05.02.2004
8. Вълчев Ал. Защитные покрытия для графитированных электродов // М-во черной металлургии СССР. ЦНИИ информации и техн.-экон. исследований черной металлургии. Черметинформация. - М.: 1976, 17 с.

9. Неужин С.В. и др. Разработка порошковых проволок для дуговой металлизации алюминидных покрытий, стойких к высоким температурам // В сборнике: Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы восемнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Старый Оскол, 2021. С. 314-323.

10. Кузнецов Р.В. Водные противопригарные покрытия с мелкодисперсными наполнителями // Литейное производство. 2015. № 2. С. 25-28

11. Илларионов И.Е. и др. Разработка и применение металлофосфатных связующих для получения формовочных, стержневых и теплоизоляционных смесей и покрытий // Теория и технология металлургического производства. 2018. №4(27). С. 4-11

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ASM-4430, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ТУГОПЛАВКИМИ КОМПОНЕНТАМИ**

Новоточинов А.П.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
alexander.nowotochinov@yandex.ru, +7 (999) 607-97-69*

Аннотация. *Статья посвящена проведению экспериментальной части по исследованию адгезионной износостойкости наплавочных материалов проволокой ASM-4430, модифицированной тугоплавкими компонентами. В процессе работы была изготовлена экспериментальная порошковая проволока, разработана методика по наплавлению образцов, наплавление образцов с последующей термической обработкой. Была сконструирована установка на базе токарного станка для проведения испытаний на адгезионный износ. Была проведена экспериментальная часть наплавленных образцов по изучению на адгезионный износ.*

Ключевые слова: электродуговая наплавка; порошковая проволока; наплавленный слой; адгезионная износостойкость.

**STUDY OF ADHESIVE WEAR RESISTANCE OF ASM-4430 SURFACE MATERIALS
MODIFIED WITH REFRACTORY COMPONENTS**

Novotochinov A.P.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *The article is devoted to the experimental part of the study of the adhesive wear resistance of surfacing materials using ASM-4430-SA wire modified with refractory components. In the process of work, experimental flux-cored wire was produced, a technique for fusing samples was developed, they were clad with subsequent heat treatment. A lathe-based installation was designed to conduct abrasive wear tests. An experimental part of the deposited samples was carried out to study abrasive wear.*

Keywords: electric arc surfacing; flux-cored wire; deposited layer; abrasive wear resistance.

Время эксплуатации любого оборудования заложено конструктором в определенных границах. И в процессе работы, через N-ное количества циклов (или времени) изношенные детали оборудования необходимо будет заменить на новые. Во многих производственных комбинатах изношенные детали не утилизируют, а восстанавливают изношенные участки детали, затем снова запускают в производство. Восстановление деталей обходится гораздо дешевле, чем приобретение новой. Ввиду регулярных восстановительных работ, специалисты предприятий заинтересованы в том, чтобы увеличить время эксплуатации восстановленной детали. Для этого проводят различные испытания в поисках получения высокопрочных восстановительных материалов.

Существует три вида основных износа деталей – это адгезивный износ, абразивный и диффузионный. В зависимости от условий эксплуатации деталь подвергается одному (или нескольким) из них. Одним из частых износов в металлургическом машиностроении является адгезионный износ. Адгезионный износ — это износ, который происходит в результате перемещения материала с одной поверхности на другую во время их относительного движения[1]. Прилипание и перенос частиц с одной поверхности на другую происходит ввиду воздействия сил притяжения между молекулами материалов. Данный вид износа часто является причиной поломок и снижения эффективности работы системы.

В некоторых механизмах невозможно ничего предпринять для уменьшения данного износа, только как увеличить износостойкость трущейся детали. Для этого сначала нужно исследовать наплавочные материалы на адгезионный износ в лабораторных условиях и выявить наилучший сплав.

Для обеспечения технической возможности упрочнения возникает необходимость разработки методологии управления свойствами и характеристиками формируемых наплавленных покрытий в сочетании с физико-механическими свойствами упрочняемого материала детали. Далее представлена методика адгезионного износа наплавленных слоёв материала порошковой проволоки ASM 4430 (Fe-C-Mn-Si-Cr-Ni-Mo-V) модифицированного.

Исследование адгезионной износостойкости образцов производилось на станке JET GHB-1340A, оборудованным специальной дополнительной установкой (см. рис. 1).

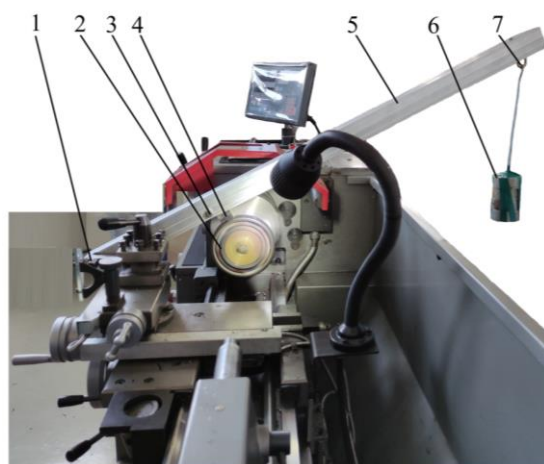


Рис. 1 – Установка для адгезионного износа образца

1 – шарнирное соединение; 2 – контртело; 3 – крепление образца; 4 – исследуемый образец; 5 – рычаг;
6 – дополнительный груз; 7 – крепление груза

В качестве модифицирующих компонентов проволоки были использованы нанодисперсные порошки вольфрама (W), карбида вольфрама (WC) и гексагонального нитрида бора (BN г.) [2]. За основу экспериментальных составов порошковой проволоки, была выбрана проволока ASM 4430-SA, выпускаемая ООО «АСМ-Специальные наплавочные материалы». Состав данной проволоки характеризуется высоким содержанием хрома (14 %). Химический состав порошковых проволок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав наплавляемой проволоки

№	Проволока	Химический состав наплавляемого металла, %											
		Fe	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Co	W	WC	BNr
1	АСМ 14	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2		5,0	4,3	0,3
2	АСМ 15	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2		4,5	2,5	0,3
3	АСМ 16 (Севастопольская)	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2			6*	0,3
4	Сабарос Ф-116	Осн.	0,15	0,4	0,7	14,5	0,5	2,5		12,5			

5	АСМ 4430-SA (10)	Осн.	0,3	1,3	0,6	14, 0	0,4	1, 2	0,2			6	0,3
6	АСМ 4430-SA (11)	Осн.	0,3	1,3	0,6	14, 0	0,4	1, 2	0,2			10	0,4

*– Порошок WC нанодисперсный

Наплавку исследуемых образцов производили в соответствии технологией, описанной в статье [3].

Затем на металлографическом станке, с кругом srtuers 40A30 (300x2x32) с водяным охлаждением образца, осуществлялась резка круга $\varnothing 100$ мм на четыре равные части и каждый из четырех частей обрезались под квадрат.

При помощи шлифовального станка LAD-350 осуществлялась выравнивание (горизонтальное) наплавленного слоя образца по всей площади.

Испытание наплавленных образцов на адгезионный износ проводилось на установке, схема которой изображена на рис. 2.

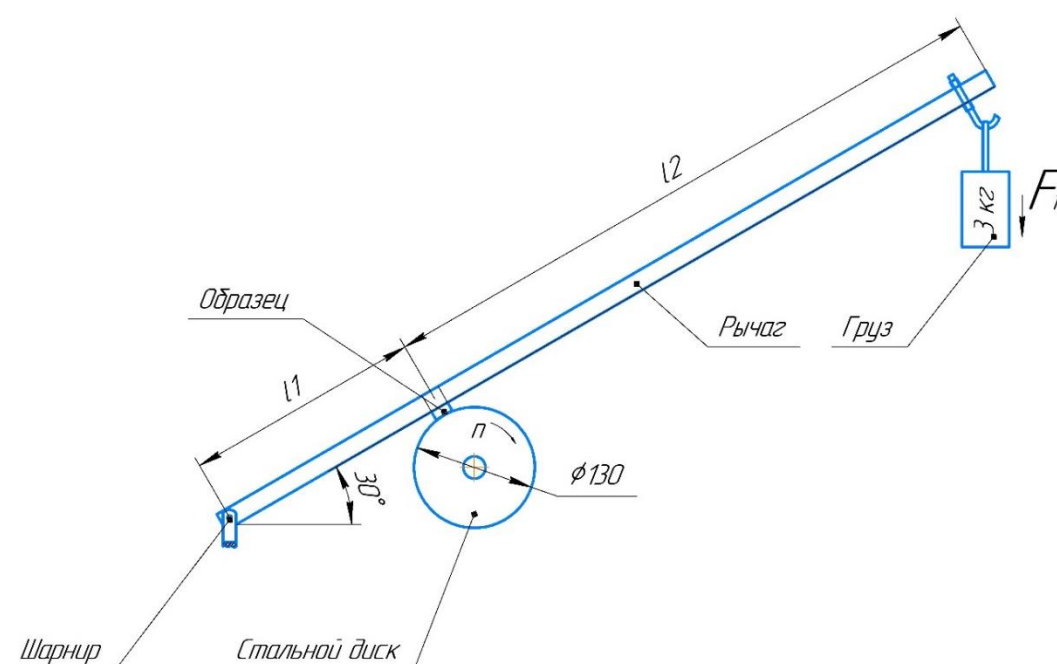


Рис. 2 – Схема специальной установки

Испытания проводились на образце, контактирующем с абразивной средой стороной подложки из стали 20ХГСА, с наплавленной поверхностью при движении контртела поперек наплавки.

В качестве контртела (поз. 2, рис. 1), зафиксированная в патроне станка, использовалась сталь ШХ15 с твердостью 60...65 HRC, шероховатость поверхности скольжения составляла

не более Ra 1,25. Дополнительная установка (рис. 1) представляет собой рычаг (поз. 5), закрепленный с одной стороны на шарнире (поз. 1), имеющий крепление (поз. 3) для образца (поз.4) в месте контакта с контртелом и с другой стороны место крепления (поз. 7) дополнительного груза (поз. 6). Нагрузка при испытании составляла 3 000 г (3 кг), длительность одного цикла 20 минута, количество циклов – 10 шт.

Величина износа определялась путем измерения массы образцов после каждого цикла на лабораторных весах модификации ВК-300 с ценой деления 0,005 г. Окружная скорость колеса составляет 122,5 м/мин. Общее время испытания составило 200 мин для каждого образца. Смазочная среда отсутствовала.

Износостойкость наплавленного материала оценивалась потерей массы образца после каждого цикла испытания. После каждого цикла испытания проводилась серия из 3 (трех) измерений массы образца и фиксировалось среднее значение. Измерения выполнялись на весах аналитических ВК-300.

После проведения 10 циклов испытания образцов на адгезионный износ, выявлена определенная зависимость каждого образца в зависимости от состава наплавленного материала см. рис. 3.

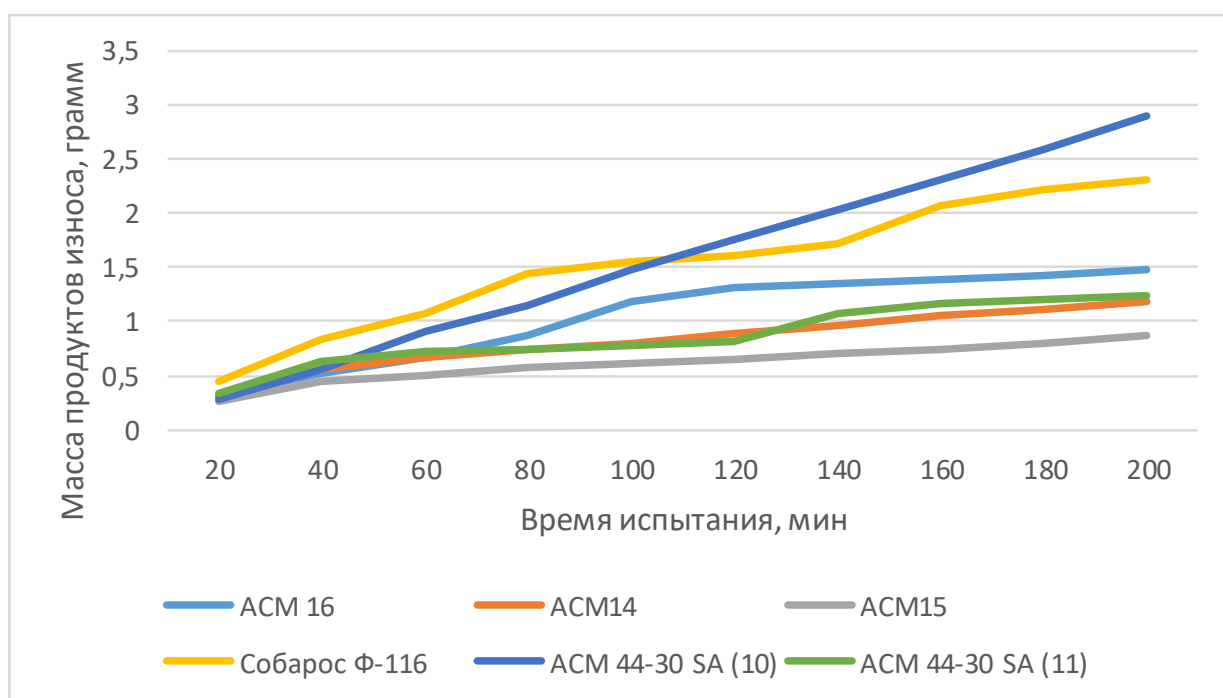


Рис. 3 – График зависимости износа образца от времени, гр/мин

Анализируя график зависимости можно сделать вывод, добавление каким хим. элементов способствует увеличению прочностных свойств наплавочного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://svoimi-slovami.su/chto-takoe-adgezivnyj-iznos-prostymi-slovami/>Статья: Простыми слова о главном/Металлургия2023.
2. Петржик М.И., Левашов Е.А. Современные методы изучения функциональных поверхностей перспективных материалов в условиях механического контакта // Кристаллография. 2007. Т. 52. №6. С. 1002-1010.
3. Новоточинов, А. П. Разработка плана-эксперимента исследования абразивной износостойкости наплавочных материалов модифицированными тугоплавкими компонентами / Новоточинов А.П., Десятниченко С.А., Макаров А.В., Владимиров А.А. // XX ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНОПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ, Старый Оскол, 13 апреля 2023 года. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования

**ИССЛЕДОВАНИЕ АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ASM-4430, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ТУГОПЛАВКИМИ КОМПОНЕНТАМИ**

Новоточинов А.П.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
alexander.nowotochinov@yandex.ru, +7 (999) 607-97-69*

Аннотация. *Статья посвящена проведению экспериментальной части по исследованию абразивной износостойкости наплавочных материалов проволокой ASM-4430, модифицированной тугоплавкими компонентами. В процессе работы была изготовлена экспериментальная порошковая проволока, разработана методика по наплавлению образцов, наплавление образцов с последующей термической обработкой. На установке для испытания, по схеме Бринелля-Ховарта, проведены эксперименты на абразивный износ, для дальнейшего исследования наплавочной проволоки.*

Ключевые слова: электродуговая наплавка; порошковая проволока; наплавленный слой; абразивная износостойкость; установка для испытания на абразивный износ.

**STUDY OF ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF ASM-4430 SURFACE MATERIALS
MODIFIED WITH REFRACTORY COMPONENTS**

Novotochinov A.P.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *The article is devoted to the experimental part of the study of the abrasive wear resistance of surfacing materials using ASM-4430 wire modified with refractory components. In the process of work, experimental flux-cored wire was produced, a technique for fusing samples was developed, fusing samples with subsequent heat treatment. Abrasive wear experiments were carried out using the Brinell-Howarth test setup to further study the surfacing wire.*

Keywords: electric arc surfacing; flux-cored wire; deposited layer; abrasive wear resistance; abrasive wear testing installation.

Процесс совершенствования металлургического производства напрямую отражается в снижении себестоимости и повышения качества готовой продукции. В настоящее время существует немало методов для повышения комплексной эффективности работы металлургического оборудования. Ключевой момент в снижении эффективности оборудования является дорогостоящие ремонты по замене изношенных узлов и деталей. Помимо себестоимости новых деталей частые ремонты чреватые большим простоем оборудования. Для решения данной проблемы недостаточно уменьшить лишь время планового ремонта оборудования. Основной проблемой является повышенный износ трущихся тяжело-нагруженных деталей. Поэтому исследовательская работа в данной области должна послужить к увеличению производственных мощностей агрегатов.

Ввиду ухода с российского рынка зарубежных поставщиков с высококачественными товарами, данная проблема становится особо популярной среди производственных организаций [1]. Многие ремонтные организации, а также производители готового оборудования для защиты от абразивного изнашивания и повышения ресурса эксплуатации применяют различные, повышенного качества, покрытия. Покрытия наносят при помощи электродуговой наплавки, а также различными видами напыления, с помощью эластомерных и композитных материалов, в некоторых случаях применяют комбинации различных покрытий.

В данной работе представлена методика абразивного износа наплавленных слоёв материала порошковой проволоки ASM 4430 (Fe-C-Mn-Si-Cr-Ni-Mo-V) модифицированного. В качестве модифицирующих компонентов были использованы нанодисперсные порошки вольфрама (W), карбида вольфрама (WC) и гексагонального нитрида бора (BN г.) [2]. За основу экспериментальных составов порошковой проволоки, была выбрана проволока ASM 4430-SA, выпускаемая ООО «АСМ-Специальные наплавочные материалы». Состав данной проволоки характеризуется высоким содержанием хрома (14 %). Химический состав порошковых проволок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав наплавляемой проволоки

№	Проволока	Химический состав наплавляемого металла, %											
		Fe	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Co	W	WC	BNr
1	АСМ 14	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2		5,0	4,3	0,3
2	АСМ 15	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2		4,5	2,5	0,3

3	АСМ 16 (Севастополя)	Осн.	0,3	1,3	0,6	14, 0	0,4	1, 2	0,2			6*	0,3
4	Сабарос Ф-116	Осн.	0,1 5	0,4	0,7	14, 5	0,5	2, 5		12,5			
5	АСМ 4430-SA (10)	Осн.	0,3	1,3	0,6	14, 0	0,4	1, 2	0,2			6	0,3
6	АСМ 4430-SA (11)	Осн.	0,3	1,3	0,6	14, 0	0,4	1, 2	0,2			10	0,4

*– Порошок WC нанодисперсный

Наплавку исследуемых образцов производили под керамическим флюсом UF-02 (фракции 0,2-1,6 мм) (для АСМ 16 агломерированный основной флюс Alfa Mag Ф-900) на установке УСН 60-500/1400 SAW, также проведение термообработки после наплавки с одинаковыми установочными параметрами для всех образцов [3].

Затем на металлографическом станке, с кругом srtuers 40A30 (300x2x32) с водяным охлаждением образца, осуществлялась резка круга Ø100 мм на четыре равные части и каждый из четырех частей обрезались под квадрат.

При помощи шлифовального станка LAD-350 осуществлялась выравнивание (горизонтальное) наплавленного слоя образца по всей площади наплавки.

Проведение исследований на абразивный износ

Испытание наплавленных образцов на абразивный износ проводилось на установке по схеме Бринелля-Ховарта (рис. 1, 2).



Рис. 1 – Установка для испытаний на абразивный износ по схеме Бринелля-Ховарта

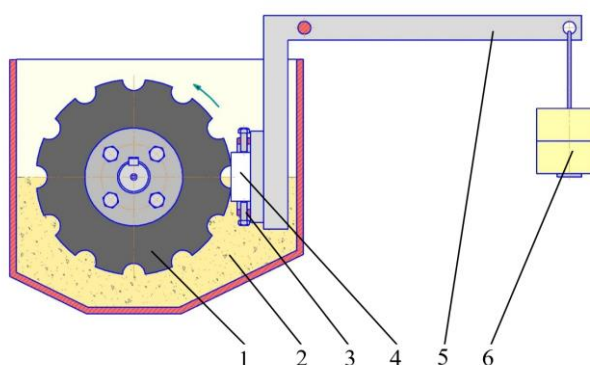


Рис. 2 – Схема установки для испытаний на абразивный износ по схеме Бринелля-Ховарта

*1 – резиновое колесо; 2 – абразив; 3 – крепление
образца; 4 – исследуемый образец;
5 – рычаг; 6 – груз*

Подготовленный образец размером 20x20x30 устанавливают в крепление (поз. 3, рис. 2), при помощи фиксирующих болтов фиксируют и перемещают рычаг (поз. 5, рис. 2) в исходное положение. На конец рычага в специальную проушину устанавливают дополнительный груз (поз. 6, рис. 2) массой 500 г (0,5 кг). Запускают установку и одновременно на телефоне Xiaomi MI 10T включают секундомер. По достижении 5 минут (300 секунд) (одного цикла) установку выключают и извлекают образец.

В качестве абразивного материала используется гранатовый песок Standart mesh 80 ТУ 08.99.22-004-37393276-2021 производства ООО «ОрлАЗ» партии 001922, даты изготовления 09.02.2022, с зернистостью 0,177...0,178 мм. Истирание образца осуществляется при помощи резинового колеса, имеющего радиусные пазы, которые равномерно расположены по наружному периметру колеса. Резиновое колесо установлено на выходном валу редуктора, на который посредством клиноременной передачи передается вращение от электродвигателя. Окружная скорость колеса составляет 28 м/мин. Для каждого образца выполняется 200 (двести) циклов испытаний. Общее время испытания составило 1000 мин для каждого образца. Сила, прикладываемая на испытываемый образец через нагрузочный рычаг, составляла 0,08 кН. Смазочная среда отсутствовала.

Испытания проводились на образце, контактирующем с абразивной средой стороной подложки из стали 20ХГСА, с наплавленной поверхностью при движении абразива поперек наплавки.

Износостойкость наплавленного материала оценивалась потерей массы образца после каждого цикла испытания. После каждого испытания проводилась серия из 3 (трех) измерений массы образца и фиксировалось среднее значение. Измерения выполнялись на весах аналитических ВК-300.

После проведения 200 циклов испытания образцов на абразивный износ, выявлена определенная зависимость каждого образца в зависимости от состава наплавленного материала.

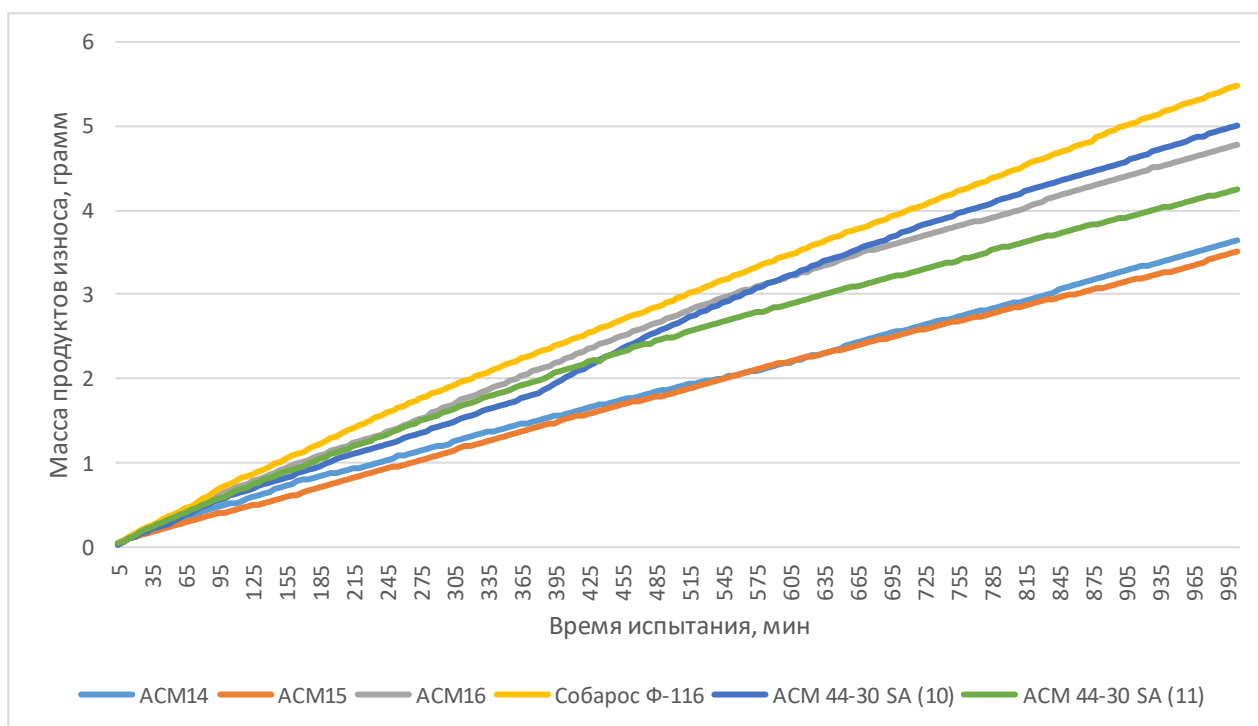


Рис. 3 – График зифисимости износа образца от времени, гр/мин

Следовательно, введение микро- и нанодисперсных тугоплавких компонентов в состав порошковых проволок для наплавки способствует, повышению стойкости наплавленного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Главные_проблемы_и_препятствия_им_портозамещения_ИТ_в_России.
2. Петржик М.И., Левашов Е.А. Современные методы изучения функциональных поверхностей перспективных материалов в условиях механического контакта // Кристаллография. 2007. Т. 52. №6. С. 1002-1010.
3. Новоточинов, А. П. Разработка плана-эксперимента исследования абразивной износостойкости наплавочных материалов модифицированными тугоплавкими компонентами / Новоточинов А.П., Десятниченко С.А., Макаров А.В., Владимиров А.А. // XX ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНОПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ, Старый Оскол, 13 апреля 2023 года. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования

4. Кащенко Ф.Д. Восстановление наплавкой роликов МНЛЗ//Металлургические машины и процессы (теория и практика) Сборник научных трудов. — Магнитогорск: МГТУ, 1998. – С. 13-16.

5. Якушин Б.Ф., Цирков П.А. Особенности технологии дуговой наплавки роликов для установок непрерывной разливки сталей // Сварка и диагностика. – 2009. – № 5. – С. 35-40.

К ВОПРОСУ ОБ УПРОЧНЕНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Титов М.В., Афонин А.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
tomn_sti_MISIS@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240*

***Аннотация.** В работе произведен обзор видов и причин разрушений зубьев зубчатых колес, а также описаны существующие методы упрочнения зубьев. Дано обоснование применения поверхностного пластического деформирования, как наиболее рационального метода упрочнения крупногабаритных зубчатых колес.*

Ключевые слова: упрочнение; поверхностное пластическое деформирование; зубчатые колеса; износ.

ON THE QUESTION OF STRENGTHENING LARGE-SIZED GEARS BY PLASTIC DEFORMATION

Titov M.V., Afonin A.N.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The work provides a review of the types and causes of destruction of gear teeth, and also describes existing methods for hardening teeth. A justification is given for the use of surface plastic deformation as the most rational method of hardening large-sized gears.*

Keywords: strengthening; surface plastic deformation; gears; wear.


Крупногабаритные зубчатые колеса широко используются в различных промышленных отраслях, таких как машиностроение, энергетика, металлургия и др. Зубчатые колеса часто подвергаются высоким нагрузкам, что может привести к их износу и поломке.

Одной из основных причин выхода из строя зубчатых колес является образование трещин и разрушение зубьев в результате повышенных и циклических нагрузок на колеса (таблица 1). Это может произойти из-за неоднородности материала, нарушения технологии производства или несовершенства конструкции. Также стоит отметить проблему износа

зубчатых колес. При постоянном трении в зубчатом зацеплении, поверхность зубьев может стираться и терять свою форму. Это влияет на точность передачи движения и может вызвать большие потери эффективности работы механизма или выход его из строя.

Таблица 1 – Виды разрушения зубьев колес

Виды разрушения	Причины возникновения	Изображение
Излом зубьев	<p>Может происходить в результате больших перегрузок ударного и статического характера.</p> <p>Усталостный излом происходит от действия переменных напряжений в течение длительного времени.</p>	
Усталостное выкрашивание	<p>Возникает в результате действия переменных контактных напряжений в поверхностных слоях материала, вызывающих усталость материала зубьев</p>	
Абразивный износ	<p>Вследствие попадания абразивных частиц в зубчатую передачу</p>	

Задир	<p>Возникает при нарушении сплошности масляной плёнки, в случае появления металлического контакта между рабочими поверхностями зубьев, сопровождается нагревом металла вплоть до сваривания микрообъёмов металла. Это приводит к появлению борозд, расположенных на рабочей поверхности зубьев, перпендикулярно оси колеса</p>	
-------	--	---

Для увеличения стойкости и долговечности зубчатых колес необходимо использовать технологии упрочнения зубьев. Методы упрочнения зубьев делятся на механические, термические, термомеханические, химико-термические, а также нанесение покрытий [1, 2].

Механическое упрочнение – это преднамеренное искажение кристаллической решетки металла в результате механического воздействия на него. В результате выступающие микронеровности обрабатываемой поверхности пластически деформируются, шероховатость поверхности уменьшается, поверхностный слой металла упрочняется.

Термическое упрочнение происходит при температурном воздействии на различные материалы с целью изменения их структуры и свойств. К ней относят различные виды объемной и поверхностной закалки, в том числе в сочетании с отпуском.

Термомеханическая обработка – сочетание термического воздействия и пластической деформации: при сохранении достаточной пластичности, совмещающий пластическую деформацию и упрочняющую термическую обработку (закалку и отпуск). Преимуществом является то, что при существенном увеличении прочности характеристики пластичности снижаются незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5-2 раза по сравнению с ударной вязкостью стали после закалки с низким отпуском.

Химико-термическая обработка – сочетание химического и термического воздействия с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя детали в необходимом направлении, например, азотирование или цементация. Такое насыщение повышает микротвердость поверхности колеса и увеличивает его износостойкость.

К методам нанесения упрочняющих покрытий относят электродуговую наплавку, газопламенное напыление, электроискровое легирование и т.д. Данные технологии позволяют

сформировать на поверхности деталей слой инородного материала, по своим физико-механическим свойствам резко отличающегося от материала основы.

Традиционные методы упрочнения, такие как закалка или наплавка, имеют свои ограничения при работе с крупногабаритными колесами, в частности не всегда обеспечивают требования по усталостной прочности. В связи с этим одной из наиболее перспективных технологий увеличения прочности зубчатых колес без изменения их габаритов является поверхностное пластическое деформирование (ППД) [3].

ППД выполняется с целью повышения сопротивления усталости и твердости поверхностного слоя металла и формирования в поверхностном слое напряжений сжатия, а также регламентированного микрорельефа. Упрочняющую обработку ППД применяют на финишных операциях технологического процесса, вместо или после термообработки, и часто вместо абразивной или отделочной обработки.

Поверхностная деформация приводит к образованию сдвигов в зернах, упругому искажению кристаллической решетки, изменению формы и размеров зерен. Интенсивность наклепа (упрочнения) тем выше, чем мягче сталь. На незакаленных сталях увеличение твердости составляет более 100%, на закаленных 10-20%, при глубине упрочненного слоя до 12 и более мм [4].

Важным аспектом метода ППД является создание оптимальных условий обработки. Определение правильных параметров и времени деформации, а также используемого инструмента и оборудования, играет решающую роль в процессе упрочнения. Это требует проведения комплексных исследований, включающих моделирование и экспериментальное подтверждение результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генкин М.Д., Рыжов М.А., Рыжов Н.М. Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
2. Маркин А.А., Козлова Я.И. Способы упрочнения поверхности зубчатых колес // Достижения и перспективы научных исследований молодежи: Материалы XIX студенческой научно-практической конференции, Кумертау, 12-13 апреля 2021 года. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. – С. 100-103.
3. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. В 2-х томах. / С.К. Амбросимов, А.Н. Афонин А.П. Бабичев и др. Под общ. ред. А.Г. Суслова. — М.: Машиностроение, 2014.

4. Немного о методе упрочнения поверхностным пластическим деформированием
// Станочный парк, 2005, № 10.

АНАЛИЗ СОСТАВОВ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ НАПЛАВКИ РОЛИКОВ МНЛЗ И РОЛЬГАНГА

Часовских А.С., Макаров А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
tomn_sti_MISIS@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240*

Аннотация. *Статья посвящена анализу составов порошковых проволок для наплавки роликов МНЛЗ и рольганга. Представлены преимущества различных проволок, химический состав и обеспечиваемая твердость.*

Ключевые слова: порошковая проволока; химический состав; твердость; износостойкость;

ANALYSIS OF THE COMPOSITIONS OF POWDER WIRES FOR SURFACING CASTERS AND ROLLER ROLLERS

Chasovskikh A.S., Makarov A.V.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *The article is devoted to the analysis of the compositions of powder wires for surfacing casters and roller rollers. The advantages of various wires, the chemical composition and the hardness provided are presented.*

Keywords: powder wire; chemical composition; hardness; wear resistance.

Учитывая сочетание множества разрушающих факторов, которым подвержены ролики во время эксплуатации, предъявляются высокие требования к наплавочным материалам [1]:

- сохранение основных параметров после отпуска;
- высокие показатели коррозионной и температурной стойкости;
- сопротивление образованию и развитию трещин;
- высокие значения механических свойств.

Порошковой проволокой (ПП) называется металлическая проволока трубчатого сечения, наполнитель которой состоит из флюса, или из смеси металлических и минеральных

порошков, или исключительно из металлического порошка.

Высокая технологический уровень сварки порошковых проволок даёт ряд преимуществ по сравнению с проволоками сплошного сечения и покрытыми электродами. Порошковые проволоки, при использовании в наплавочных технологиях, отличаются высокой стабильностью дугового разряда, малым разбрызгиванием и повышенной производительностью.

К основным преимуществам порошковой проволоки относятся гибкая адаптация ее компонентного состава и технологических свойств к химическому составу и свойствам наплавляемого материала.

Современные наплавочные материалы представляют из себя порошковые проволоки, состоящие металлической оболочки, образующей основную долю металла, и полости, заполненной шихтой из различных порошковых материалов, в том числе минеральных компонентов и гранул литых тугоплавких карбидов. Порошковые проволоки могут представлять собой композит из металлических и минеральных составляющих [2].

Касательно наплавляемых на оборудования металлургических предприятий материалов следует отметить:

- жаропрочные сплавы на основе железа используются для наплавки деталей, испытывающих циклическое температурное и силовое воздействие. Рекомендованная структура такого покрытия - легированный мартенсит с равномерно распределенной упрочняющей фазой [3];

- увеличение стойкости к образованию трещин термической усталости можно добиться используя наплавку с образованием в поверхностном слое сплавов с аустенитно-мартенситной структурой [4];

- жаропрочность и стойкость к термической усталости наплавленного металла увеличивают за счёт внедрения в матрицу наплавленного слоя упрочняющих дисперсных компонентов [5, 6].

Мировая практика разработки, производства и применения наплавочных проволок с целью восстановления и поверхностного упрочнения роликов МНЛЗ показывает успехи в увеличении показателей стойкости [7]. Составы порошковых проволок, указанные в таблице 1, предлагают для наплавки на ролики рольганга и МНЛЗ ведущие зарубежные и отечественные фирмы:

- ООО «АСМ-Специальные наплавочные материалы»;
- Фирма ESAB;
- ООО «ТМ.ВЕЛТЕК»;
- Фирма UTP Maintenance;

- Фирма SABAROS S.A;
- Фирма EWC (Edinstwo Welding Company);
- Фирма DURUM;
- Фирма Weldclad.

Таблица 1 – Химический состав и твёрдость наплавленных слоёв различных марок порошковых проволок

Наименование марки	Твёрдость		Химический состав, %											
	HB	HRC	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	N	W	V	Co	Fe
ASM 4154 - OA/SA	-	22-28	0,06	1,2	≤0,9	17,5	≤0,2	≤0,2	-	0,1	-	-	-	Ост.
ASM 4155- OA/SA	-	40-46	0,06	0,8	<0,9	13	4	0,8				0,4		Ост.
ASM 4313- OA/SA	-	42-48	0,06	0,8	<0,9	16,5	4,5	1		0,1		0,1		Ост.
ASM 4420- OA/SA	-	38-44	0,14	1,8	<0,9	14	0,4							Ост.
4420S-OA/SA	-	38-44	0,12	1,1	0,3	11,5	0,1	0,2						Ост.
4420HC-OA/SA	-	48-54	0,25	1,8	<0,9	14	0,4							Ост.
ASM 4430- OA/SA	-	48-54	0,3	1,3	0,6	14	0,4	1,2				0,2		Ост.
4610-SA	-	46-52	0,3	1,1	0,4	13,5	0,3	1,2			0,8	0,8	1,6	Ост.
4S-SA	-	48-54	0,55	1,3	0,9	6	-	1	4					Ост.
24S-SA	-	24-30	0,08	1,2	0,6	1,5	0,6	0,6				0,3		Ост.
ASM 4110V-SA	-	24-30	0,1	1,2	0,9	1,2	1	0,5						Ост.
ASM 4450-SA	-	48-52	0,3	1,5	0,9	2,7	1,5	2,6				0,4		Ост.
ASM 4603-SA	-	52-56	0,3	1,8	0,7	5	0,1	1,4				0,7		Ост.
АСМ-18Х1Г1М- SA	280-380		0,18	1,5	<0,8	1,5	-	0,5				-		Ост.
АСМ-25Х5ФМС-SA	-	44-52	0,25	1,6	1,1	5,5	-	1,2				0,4		Ост.
АСМ-35В9Х3СФ-SA/GS	-	46,54	0,3	1	0,5	3	0,2	-			10	0,3		Ост.

T	-	47	0,12	1,2	0,4	13,5	2,5	1,2	0,18			0,18		Ост.
ThermaClad 423Co	-	47	0,12	1,2	0,4	13,5	2,5	1,2	0,18			0,18	2,5	Ост.
ThermaClad 423H	-	49	0,18	1,2	0,4	13,5	2,5	1,2	0,18			0,18		Ост.
T	-	45	0,15	1,2	0,5	11,7	2	1	-			0,15		Ост.
ThermaClad 423N	-	42	0,06	1,8	0,3	12,5	4	1,6	-		0,3	0,35		Ост.
ThermaClad 440	-	40	0,04	0,8	0,6	13	4,5	0,9	-			-		Ост.
	-	35-45	0,06	1,1	0,45	13,5	2,5	1,6	-			0,25		Ост.
BeT ПП-Нп12X13	-													Ост.
BeT ПП-Нп12X14H3	-													Ост.
BeT ПП-Нп15X14ГН2М 1ФБ	-													Ост.
БЕЛТЕК-Н390	-	36-46	0,12	0,6	0,6	13								Ост.
БЕЛТЕК-Н400	-	38-48	0,2	0,6	0,5	17								Ост.
B	-	36-52	0,2	1	0,8	14	3							Ост.
B	-	40-52	0,17	1	0,7	14	2	1,3						Ост.
SK 650-G	-	58	0,45	0,9	0,6	5,5	-	1,4	-	-	1,6	0,5	-	Ост.
SK 258-O	-	55	0,47	1,5	0,8	5,7	-	1,4	-	-	1,5	-	-	Ост.
SK 385-SA	-	54	0,3	1,3	0,4	16	-	0,5	-	-	-	-	-	Ост.
S	-	42	0,03	0,5	0,6	15,5	5,2	0,5	-	-	-	-	-	Ост.
	-	39	0,04	1	0,3	12	5	0,9		-				Ост.
	-									-				Ост.
	-	41	0,06	0,5	0,6	13	5,5	0,8	-	-	-	-	-	Ост.
	-	44	0,03	1	0,6	13	4,2	0,5	-	0,1	-	-	-	Ост.
	-													Ост.
EWC CW414-SAW	-	40-50	0,06	1	1	13	4	4						Ост.
EWC CW551-SAW	-	53-59	0,4	1,5	0,9	3,5	-	-	-	-	7			Ост.

EWC CW552-SAW	-	54-60	0,4	0,6	1	9	4	1				1		Ост.	
FD 476	-	48-50	0,3		0,3	16	4	1,5				1	1	1	Ост..
FD 337 UP	-	52-54	0,2	-	-	0,5	0,2	4							Ост.
FD 440 UP	300-480														Ост.

Анализируя составы порошковых проволок видно, что наиболее распространённым решением по комбинации химических элементов является система Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo. В ряде случаев в составах присутствует никель, вольфрам, ниобий, азот, ванадий и кобальт.

Применение в составе металлической шихты порошковой проволоки комбинации из углерода, кремния, марганца, хрома и молибдена повышает твердость наплавленного слоя и уменьшает износ образцов. Использование ванадия и никеля в аналогичной смеси имеет схожий эффект [8].

Увеличение содержания никеля до 0,65 %, введение кобальта и ограничение содержания углерода до 0,2 % в составе материала для наплавки приводит к измельчению игл мартенсита и уменьшению размера зерна аустенита в наплавленном слое [9].

Применение вольфрама в составе наплавочной порошковой проволоки оказывает положительное влияние на твердость наплавленного металла [10]. Однако если в высокопрочной твердой мартенситной матрице с кобальтом имеются включения более твердых карбидов вольфрама, то у наплавленного слоя снижается как твердость, так и износостойкость. Это связано с тем, что если вязкость полученной матрицы слишком низкая, то частицы карбида вольфрама не удерживаются на поверхности, что определяет такой механизм изнашивания как выкрашивание. Так как происходит выкрашивание высокопрочных частиц карбида вольфрама из матрицы, можно предположить существенный износ наплавленного слоя. Учитывая условия эксплуатации роликов МНЛЗ и роликанга, целесообразно введение в состав шихты порошковой проволоки комбинацию из вольфрама и кобальта.

Наличие хрома в составе наплавочного материала оказывает положительное влияние на свойства наплавленного слоя. Повышение концентрации хрома в наплавляемом слое в три раза, способно увеличить твердость в среднем в 1,5 раза и снизить износ на 45 %. Таким образом рационально использовать хромистые стали как основу для изготовления шихты порошковых проволок.

Высокие показатели микротвердости и износостойкости наблюдаются в покрытиях с наличием субмикро- и наноразмерных частиц карбидных и боридных фаз, таких как карбиды

железа, ниобия и хрома, бориды железа, боросилициды железа и карбоборида хрома.

Наличие азота в наплавочных сплавах на основе железа препятствует росту зёрен, что обеспечивает упрочнение за счёт дисперсности структуры, а также, являясь активным аустенизатором, что позволяет уменьшить концентрацию более дорогих элементов, таких как никель и марганец. Азот способствует уменьшению интенсивности процесса обратного $\alpha \rightarrow \gamma$ мартенситного превращения при повышенных температурах [11, 12], и приводит к равномерному распределению нитридов в структуре наплавленного слоя [13].

Так как вольфрам является наиболее перспективным элементом для использования в составе шихты порошковой проволоки можно рассмотреть диаграмму железо-вольфрам. Диаграмма состояния Fe-W [14] и приведена в справочнике «Диаграммы состояния двойных металлических систем». На данной диаграмме нас интересует участок с содержанием вольфрама до 10%.

Согласно диаграмме (рисунок 1) в данной системе образуются три промежуточные фазы λ (Fe_2W), μ (Fe_7W_6), δ (FeW), помимо этого образуются твёрдые растворы вольфрама, фаза мартенсита (α -Fe) и аустенита (γ -Fe). На кривых ликвидуса и солидуса фаза мартенсита имеется в минимальном объёме при температуре 1529 °С и содержании 4,4 % (ат.) вольфрама. При температуре 1548 °С происходит образование фазы мартенсита с концентрацией 14,3 % (ат.) вольфрама по перитектической реакции из расплава, содержащего 11,2 % (ат.) вольфрама и фазы μ (Fe_7W_6).

Вольфрам стабилизирует фазу мартенсита, повышая температуру превращения мартенсит \leftrightarrow аустенит и понижая температуру превращения аустенит \leftrightarrow дельта железо, и приводя к появлению замкнутой аустенитной области. Максимальная растворимость

вольфрама в аустените составляет 1,46 % (ат.), ширина области мартенсит + аустенит — 0,64 % (ат.) при температуре 1140 °С.

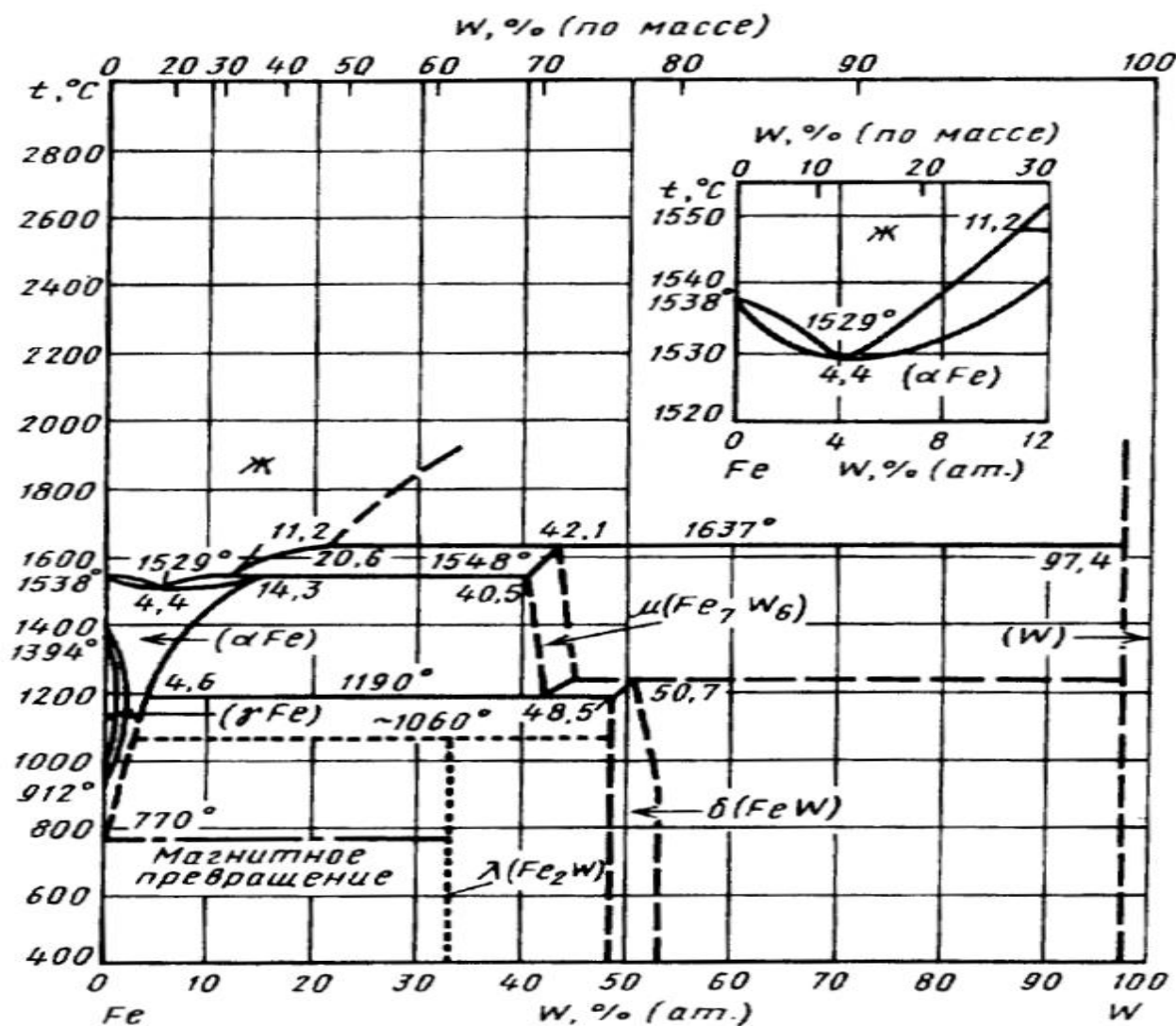


Рис. 1 – Диаграмма состояния Fe-W

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березовский А.В., Наплавочные материалы для упрочнения роликов МНЛЗ // ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина» г. Екатеринбург, 2012 г.
2. Соколов, Г. Н. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей: монография / Г. Н. Соколов, В. И. Лысак; ВолГТУ. – Волгоград, 2005. – 284 с.
3. Микаэлян, Г. С. Порошковая проволока для наплавки металла с повышенным сопротивлением усталости / Г. С. Микаэлян, В. Г. Васильев, Т. А. Корниенко // Оборудование и материалы для наплавки: сб. науч. тр. – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона. – 1990. – 124 с.
4. Миннеханов, Г. Н. Влияние модифицирования наночастицами карбонитрида

титана на структуру и свойства наплавленного металла / Г. Н. Миннеханов, О. А. Шуйкин, Р. Г. Миннеханов // Омский научный вестник. – 2009. – № 1. – С. 22–25.

5. Артемьев, А. А. Влияние микрочастиц диборида титана и наночастиц карбонитрида титана на структуру и свойства наплавленного металла / А. А. Артемьев, Г. Н. Соколов, В. И. Лысак // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2011. – № 12. – С. 32–37.

6. Устименко А.А., Кирнос О.Я., Нерода В.Я., Горелов В.П., Возьянов Е.И., Артемов В.И., Зинковский Г.В. О принципиальных особенностях разработки, производства и применения наплавочных материалов, предназначенных для поверхностного упрочнения роликов МНЛЗ // ОАО «Черметинформация», бюллетень «Чёрная металлургия», 2010 г.

7. Janette Brezinová, Anna Guzanová, Peter Balog. Quality of weld clads applied by SAW method in adhesive wear conditions, Materiálové Inžinierstvo, 2014, pp. 12-21, Volume 1.

8. Исследование качества металла, наплавленного порошковыми проволоками системы Fe - C - Si - Mn - Cr - Ni - Mo / А. А. Усольцев, Н. В. Кибко, Н. А. Козырев [и др.] // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2018. – № 1(23). – С.

9. Изучение влияния кобальта на свойства наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V металла / И. В. Осетковский, Н. А. Козырев, А. И. Гусев [и др.] // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении (ТЭК-2017): сборник трудов Международной научно-практической конференции, Кемерово, 18–21 апреля 2017 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 174-180.

10. Эксплуатационные показатели новых порошковых проволок для наплавки / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, А. И. Гусев, И. В. Осетковский, В. Е. Хомичева // Вестник Российской Академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. – Новокузнецк, 2019. – Вып. 22. – С. 85–105.

11. Структурно-фазовые состояния и свойства композиционных покрытий, наплавленных на сталь электродуговым методом / Е.В. Капралов, В.Е. Кормышев, В.Е. Громов [и др.] // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2016. – № 2. – С. 64-70.

12. Кондратьев, И.А. Исследование свойств наплавленного металла типа мартенситостареющих сталей / И.А. Кондратьев, И.А. Рябцев, Я.П. Черняк // Автоматическая сварка. – 2004. – № 10. – С. 16–18.

13. Effect of oxygen and nitrogen on the structure and properties of weld metal in welding type 01 Kh14N5MF lowcarbon hardening steels / Zh. A. Lepilina etc. // Welding International. – 1990. – № 4. – P. 743–745.

Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник в 3 т.: Т.2 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. - М.: Машиностроение, 1997. - 578-580 с.

СЕКЦИЯ 4 «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

УДК 65.011.56

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ НАГРЕВА ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В ПЕЧАХ НАГРЕВА МЕТАЛЛА

Адаменко А.А., Фомин А.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Adamenko79@yandex.ru, verner444@yandex.ru

Аннотация. *Статья посвящена способу оптимального нагрева металла с помощью нахождения зависимостей от различных параметров в печи.*

Ключевые слова: теплообмен; оптимальный нагрев; пламенная многозонная методическая печь; АСУ ТП; зависимость температур.

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE MODEL FOR HEATING A SOLID BLANK IN METAL HEATING FURNACES

Adamenko A.A., Fomin A.V.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Adamenko79@yandex.ru, verner444@yandex.ru

Abstract. *The article is dedicated to a method of increasing the intensity of metal heating by establishing dependencies on various parameters in the furnace.*

Keywords: heat transfer; intensification; multi-zone flame methodical furnace; ASU TP; temperature dependence.

В современной промышленности нагрев литой заготовки в печах нагрева металла является важным и неотъемлемым этапом производства. Оптимальный нагрев заготовки позволяет достичь требуемых свойств материала и обеспечить высокое качество и надежность конечного продукта. Поэтому для поддержания качества стали изучают процессы

теплообмена, так как они всегда играют большую роль в развитии техники и естествознания. С началом развития авиации, атомной энергетики и ракетно-космической техники возникла необходимость более детального изучения теплоэнергетики. Вместе с этим появились новые постановки задач теплообмена и возросли требования к полноте и надежности прогностических возможностей теории [1].

Для нагрева заготовки перед обработкой давлением, использование пламенных или электрических печей является распространенным методом. Эти печи предназначены специально для достижения оптимальной температуры, необходимой для обеспечения правильного формирования материала при последующей прокатке. Пламенные печи работают на основе сгорания газа или жидкого топлива, создавая высокую температуру, которая передается заготовке. Электрические печи, с другой стороны, используют электрический нагревательный элемент для нагрева воздуха или прямого нагрева заготовки.

Факторы, влияющие на процесс нагрева:

- Тип и свойства материала: Различные типы металла имеют разные температурные диапазоны для оптимального нагрева. Также, свойства материала, такие как теплопроводность и теплоемкость, могут влиять на скорость и равномерность нагрева.
- Время нагрева: Продолжительность времени нагрева также играет важную роль. Слишком короткое время может не обеспечить достаточную температуру, а слишком длительный нагрев может привести к излишней потере свойств материала.
- Методы и техника нагрева: Различные методы нагрева, такие как конвекционный, излучение или контактный нагрев, могут быть применены в разных печах нагрева металла. Выбор метода нагрева зависит от требуемой температуры, размеров заготовки и других факторов.
- Управление температурой: следить за температурой заготовки во время нагрева очень важно. Для этого может использоваться термоконтроллер, который позволяет поддерживать определенную температуру на протяжении всего процесса нагрева.

Вопросом оптимального управления температурой заготовки уже задавались профессора Кузнецов Г.В., Шеремет Г.В. Они предлагали найти зависимость между основными параметрами, а после построить на их основании математическую модель, которая позволит вычислять оптимальные значения температуры в каждой зоне.

С использованием современных технологий АСУ ТП и датчиков будут измеряться необходимые данные в печи. Затем с помощью программного кода, реализованного на контроллере, будет осуществляться оптимальное управление температурой в печи.

Программный код должен быть эффективным и не тяжеловесным, то есть занимать минимум ресурсов и выполняться с высокой скоростью. Он должен быть способен считывать

данные с установленных датчиков, анализировать их и принимать соответствующие решения для достижения желаемой температуры в печи [9, 10].

Важно отметить, что разработанный программный код должен быть адаптирован к конкретным требованиям и характеристикам печи, чтобы обеспечить эффективное и надежное управление температурой.

В качестве нагревательного устройства в сортопрокатном цехе с температурой для прокатки близкой к 1200 °С применяется пламенные многозонные методические печи [1]. Они необходимы для снижения коэффициента сопротивления металла и уменьшения вероятности появления деформации после прокатки непрерывно литых заготовок (НЛЗ) [2].

Пламенные многозонные методические печи являются особым типом печей, используемых для проведения определенных процессов при высоких температурах и контролируемой атмосфере. У этих печей есть несколько зон, каждая из которых может быть независимо управляема, чтобы обеспечить оптимальные условия нагрева и испытаний различных материалов. Обычно заготовки движутся навстречу движению продуктов сгорания топлива, чтобы достичь высокой степени использования теплоты. В качестве топлива для работы печи используется газ, который подается на горелки для нагрева заготовки [8].

Многозонные печки позволили дать гибкость в регулировке режима нагрева, потому что в каждой зоне своя температура и это позволяет не перегревать заготовку, что даст уменьшение расхода топлива во время ее работы. Так же с данными печками к каждому стану стало легче устанавливать рациональное количество нагревательных агрегатов [7].

С нынешними технологиями и развитием АСУ ТП собирается большое количество информации с нижнего уровня автоматизации, связанной со всем процессом нагрева и прокатки заготовки, что позволит использовать данные значения измерения для выявления зависимостей между ними и использования их для более эффективной и экономной работы.

Рабочее пространство печей нагрева по управлению тепловым режимом, видам и мощности горелок разделено на шесть зон: 1,2 – зона подогрева (методические зоны); 3,4 – зоны нагрева (сварочные зоны); 5,6 – зоны выравнивания (томильные зоны)

Заготовки последовательно проходят эти три пары зон, которые предварительно подогревают заготовку (методическая зона), дальше происходит основной нагрев (сварочная зона), а после выравнивают температуру (томильная зона) для стана.

Каждая зона печи снабжена датчиками температуры. Первая зона расположена над второй и соответственно с другими парами. Целевой параметр (температура заготовки) снимается пирометром непосредственно в черновой клети, что позволяет считать температуру раската, а не поверхность металла. Это даёт нам более информативную информацию для контроля процесса персоналом, так как теплопроводность внутри тела и вблизи его границ

различна. Данное различие обусловлено изменением условий протекания процессов теплопереноса и изменением структуры металла [3,5].

В пламенной многозонной печи нагрева для качественного управления температурой НЛЗ измеряются множество параметров, такие как температура в каждой зоне, время пребывания заготовок в агрегате, фиксация посадки и выдача заготовок, а также её температура. После измерения этих значений они сохраняются в базе данных.

Данные, которые использовались собирали в течение 2 недель работы печи. Полученные значения слабоструктурированные, но после обработки можно составить таблицу, где рассчитано время нахождения каждой заготовки в печи, а также температуру в каждой зоне. (табл. 1)

Таблица 1 – Фрагмент структурированной выборки

FTZ, мин	STZ, мин	TTZ, мин	T1, °C	T2, °C	T3, °C	T4, °C	T5, °C	T6, °C	Trez, °C
120	80	88	989	980	1214	1208	1185	1184	1039
148	80	680	987	982	1211	1206	1187	1190	1043

В таблице: 1) FTZ – время, проведенное заготовкой в первой паре зон; 2) STZ – время во второй паре зон; 3) TTZ – время в третьей паре зон; 4) T1,T2,T3,T4,T5,T6 – температуры в соответствующих зонах; 5) Trez – температура заготовки, снятая пирометром.

Основываясь на полученных данных после её структурирования, можно провести зависимость между ними и построить её модель с помощью различных тепловых законов.

Отталкиваясь от структурированных данных в прошлом разделе для решения данной проблемы, воспользуемся одномерным уравнением теплопроводности (рис 1). На одной границе пластины поддерживается постоянная температура T_n , на другой границе – температура T_n . Начальная температура равна T_0 .

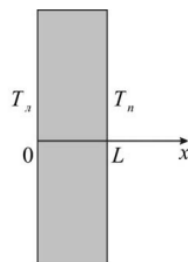


Рис. 1 – Геометрия задачи

В связи с заданными условиями дифференциальное уравнение будет иметь вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, 0 < x < L \quad (1)$$

Начальные и граничные условия в результате преобразуются следующим образом (1):

$$\begin{aligned} t = 0: T &= T_0, 0 \leq x \leq L \\ x = 0: T &= T_l, t > 0 \\ x = L: T &= T_n, t > 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Также для решения этой задачи нужно задать еще некоторые значения. Так как заготовка исполнена из стали, то $\lambda = 46$ Вт/(м·°С), $\rho = 7800$ кг/м³, $c = 460$ Дж/(кг·°С)

Полученную систему можно свести к общему виду:

$$A_i * T_{i+1}^{n+1} - B_i * T_i^{n+1} + C_i * T_{i-1}^{n+1} = F_i, \quad (3)$$

Где

$$A_i = C_i = \frac{\lambda}{h^2}, \quad B_i = \frac{2\lambda}{h^2} + \frac{\rho c}{\tau}, F_i = -\frac{\rho c}{\tau} T_i^n$$

Такие уравнения называют трехточечными разностными уравнениями второго порядка. Система (3) имеет трехдиагональную структуру. Поэтому данная задача является нестационарной, то есть её необходимо рассматривать на каждом шаге по времени.

Для решения уравнение (6) воспользуемся методом прогонки, то есть сведем к вычислениям по трем формулам: нахождение прогоночных коэффициентов α_i, β_i и после получение параметра T_i^{n+1} .

Важно, что применяя метод прогонки нельзя допустить ситуаций с делением на ноль, а при больших значениях систем не должно быть быстрого роста погрешностей округлений

То есть прогонка будет корректной, если знаменатели прогоночных коэффициентов не равняются нулю, и устойчивой, если $|\alpha_i| < 1$ при всех $i = \overline{1 < N - 1}$

Таким образом, разностные соотношения, аппроксимирующие дифференциальную задачу (1), (2) будут иметь следующий вид:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \left(\frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \right), i = 2, \dots, N - 1, n \geq 0 \quad (4)$$

$$T_i^0 = T_0, i = 2, \dots, N - 1;$$

$$T_i^n = T_l, n > 0 \quad (5)$$

$$T_N^n = T_n, n > 0$$

Аппроксимация дифференциальной задачи (1), (2) конечно-разностной (4), (5) реализована с первым порядком точности по времени t и вторым по пространственной координате h . Также неявная разностная схема является абсолютно устойчивой, то есть можно проводить интегрирование кривой задачи с любым шагом по времени

После получения данных о температурах зон печи и времени пребывания заготовок в них, мы провели анализ и смогли установить зависимость между этими значениями. Это

позволило нам разработать модель, которая способна осуществлять нагрев для достижения заданных требований стана, а также изменять установленную температуру в каждой зоне для оптимального использования продуктов сгорания топлива. Данная модель имеет потенциал для повышения эффективности процесса нагрева и улучшения качества конечной продукции [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тураходжаев, Н. Д. Эффективное использование тепла продуктов сгорания в литейных печах / Н. Д. Тураходжаев, Ж. Н. у. Хасанов // *Universum: технические науки*. – 2021. – № 6-1(87). – С. 66-68. – DOI 10.32743/UniTech.2021.87.6.11998. – EDN XGIYDF. Шухов Ю. В., Еленев С.А. Холодная штамповка / Ю.В Шухов, С.А Еленев – М: Изд-во Высшая школа, 1977. – 208 с.
2. Жуков, П. И. Алгоритмическая устойчивость и сложность процесса неявной адаптации сеточной модели нестационарной теплопроводности к нагреваемому веществу / П. И. Жуков, А. В. Фомин, А. И. Глущенко // *Управление большими системами: сборник трудов*. – 2023. – № 101. – С. 39-63. – DOI 10.25728/ubs.2023.101.3. – EDN QLKIMV.
3. Кухтик М.П., Сердобинцев Ю.П. Математическое моделирование процесса нагрева слябов в методической печи / М.П. Кухтик, Ю.П. Сердобинцев // *Известия ВолгГТУ*. – 2011. – №13 (86). – С. 80-83.
4. Жуков, П. И. Построение зависимости температуры непрерывно литой заготовки от ретроспекции её нагрева / П. И. Жуков, А. И. Глущенко, А. В. Фомин // *Системы управления и информационные технологии*. – 2019. – № 4(78). – С. 73-78. – EDN JHPCRW.
5. Кузнецов, Г. В. Разностные методы решения задач теплопроводности / Г. В. Кузнецов, М. А. Шеремет. – Томск : Издательство Томского университета, 2007. – 172 с. – EDN VPRGNR.
6. Фомин А.В. Математическая модель зависимости расхода газа в зонах печи от производительности прокатного стана. / *Металлург*. 2023. № 2. С. 111-116.
7. Панферов, В. И. К решению задачи контроля температуры металла в АСУ ТП методических печей / В. И. Панферов, С. В. Панферов // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия*. – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 63-75.
8. Аюпов, Р. Ф. Использование современных информационных технологий в теплоэнергетике / Р. Ф. Аюпов, М. Р. Давлетшина // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. – 2015. – Т. 3, № 7-3(18-3). – С. 331-334. – DOI 10.12737/15196. – EDN VONFFV.

9. Патент № 2510932 С2 Российская Федерация, МПК G06F 11/20. Система автоматизации и способ управления системой автоматизации : № 2012121154/08 : заявл. 20.10.2010 : опубл. 10.04.2014 / Х. Карл, К. Х. Керн. – EDN XODELI.

10. Калинин, А. А. Технология литейного производства / А. А. Калинин, В. А. Грачев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: в 3 т., Красноярск, 12–16 апреля 2021 года. Том 1. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2021. – С. 561-563. – EDN MODSXQ.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Анпилов А.О., Халапян С.Ю.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
khalapyan@yandex.ru, alexandr743274@yandex.ru

***Аннотация.** Данной работа посвящена вопросу повышения эффективности процесса обезвоживания железорудного концентрата с использованием дисковых вакуум-фильтров. Проведена оценка устойчивости системы управления процессом обезвоживания железорудного концентрата с индивидуальным регулированием технологических параметров каждого вакуум-фильтра.*

Ключевые слова: железорудный концентрат; автоматическая система управления; устойчивость; дисковый вакуум-фильтр; обезвоживание.

ASSESSMENT OF THE IRON ORE CONCENTRATE DEHYDRATION PROCESS INTELLIGENT CONTROL SYSTEM STABILITY

Anpilov A.O., Khalapyan S.Y.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This work is devoted to the issue of increasing the iron ore concentrate dehydration process productivity using disk vacuum filters. An assessment of the iron ore concentrate dehydration process control system stability with individual control of the technological parameters of each vacuum filter was carried out.*

Keywords: iron ore concentrate; automatic control system; stability; disk vacuum filter; dehydration.

На горно-металлургических предприятиях в процессе обезвоживания железорудного концентрата широко применяются дисковые вакуум-фильтры. Данный процесс влияет на общую эффективность предприятия, а также на себестоимость конечного продукта [1].

Целью исследования является увеличение производительности процесса обезвоживания при условии стабилизации влажности выходного продукта на требуемом технологией уровне.

В работе [2] была разработана система управления с индивидуальным регулированием технологических параметров каждого вакуум-фильтра. Данная система управления содержит: 1) контур регулирования влажности осадка; 2) контур регулирования производительности дискового вакуум-фильтра; 3) контур регулирования положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка; 4) контур регулирования уровня пульпы в ванне вакуум-фильтра; 5) контур регулирования плотности пульпы в ванне вакуум-фильтра; б) контур регулирования уровня пульпы в пульподелителе.

Разработанная система управления предусматривает измерение влажности осадка и производительности на каждом фильтре отделения фильтрации с помощью методики косвенного измерения (МКИ), функционирующей на основе разработанной нейросетевой модели агрегата.

В контуре регулирования производительности вакуум-фильтра данный параметр поддерживается на максимальном значении путём его экстремального регулирования, в ходе которого определяются оптимальные значения заданий плотности пульпы и положения задвижки. Также в данном контуре используется разработанный гибридный интеллектуальный блок управления экстремальным регулятором (ГИБУЭР), использование которого позволяет в среднем в 7 раз уменьшить количество переключений заданий, что снизит износ приводов и задвижек, регулирующих разрежение в зоне набора осадка и подачу воды и пульпы в ванну вакуум-фильтра. Структурная схема интеллектуальной системы управления представлена на рисунке 1.

Устойчивость обычной системы управления характеризует её способность возвращаться в состояние равновесия после прекращения действия внешних сил, которые вывели её из этого состояния [3].

Требование устойчивости автоколебаний для системы экстремального регулирования (СЭР) является столь же необходимым, как условие устойчивости для обычных систем. Обеспечение устойчивости экстремальных систем представляет значительно большие трудности, чем у обычных систем регулирования. Если автоколебания в СЭР неустойчивы, то система будет удаляться от экстремума и может прийти к состоянию, определяемому крайними положениями регулирующего органа. Экстремум будет «потерян» [4].

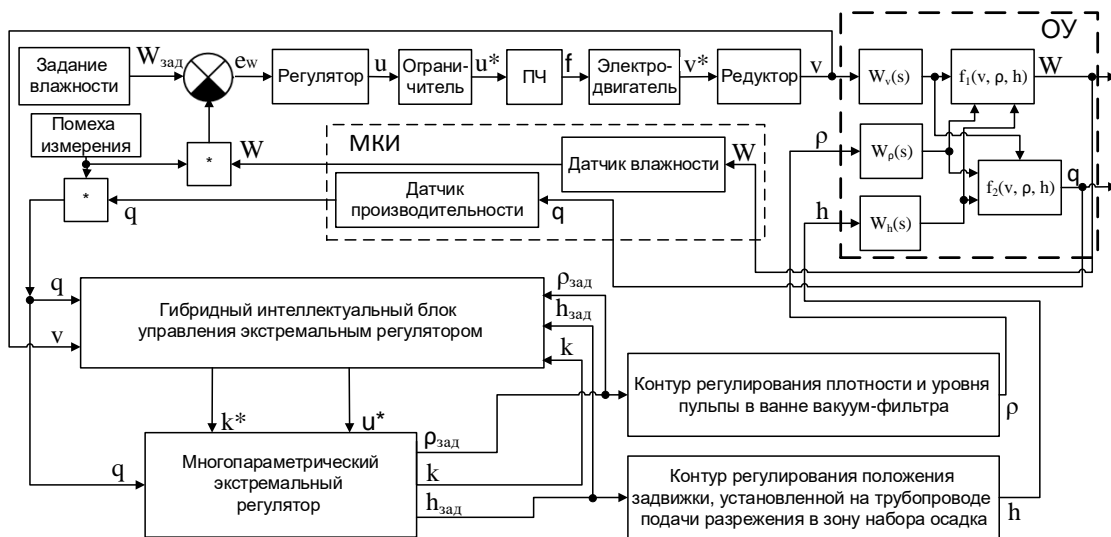


Рис. 1 – Структурная схема разработанной системы управления

Для оценки устойчивости полученной интеллектуальной системы управления последняя была представлена в виде трёх подсистем: 1 – подсистема регулирования влажности осадка, 2 – подсистема регулирования производительности путём изменения плотности пульпы, 3 – подсистема регулирования производительности путём изменения положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка. Работа каждой из подсистем является возмущением для двух остальных. Нейросетевой МКИ представляется в виде двух безинерционных датчиков: влажности осадка и производительности вакуум-фильтра, которые проводят измерения с погрешностью, обусловленной точностью нейронной сети. Многопараметрический экстремальный регулятор рассматривается как два шаговых экстремальных регулятора для подсистем 2 и 3. Преобразованная структурная схема разработанной системы управления представлена на рисунке 2.

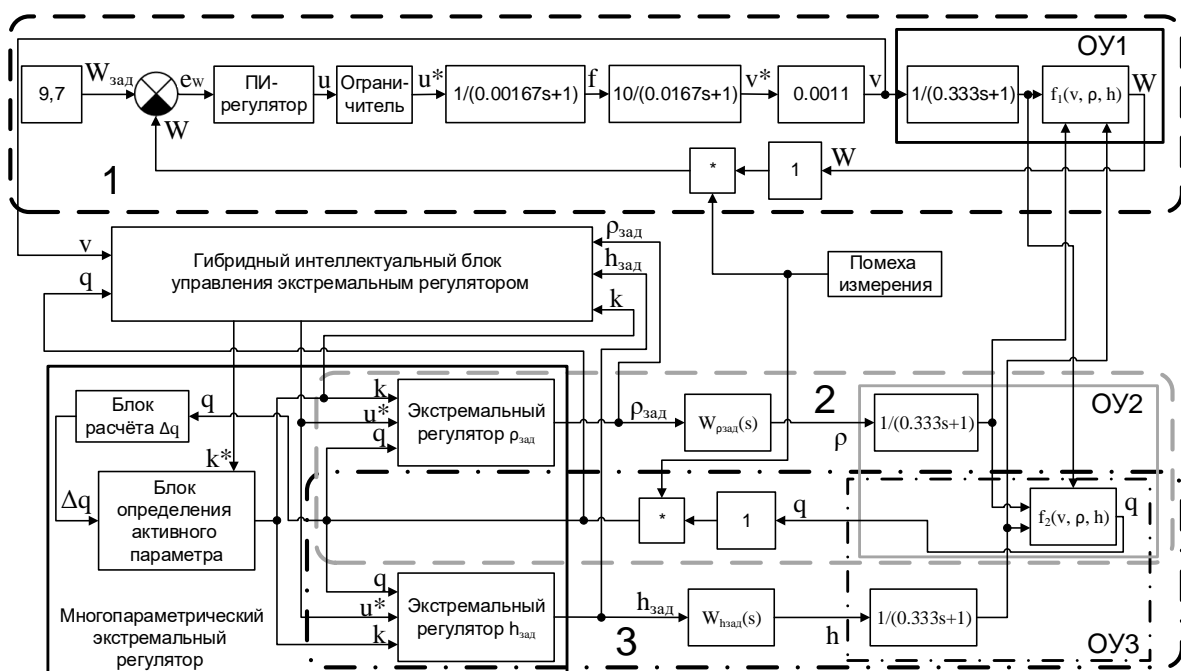


Рис. 2 – Преобразованная структурная схема разработанной системы управления

Оценка устойчивости проводится при функционировании системы управления в следующих условиях:

- оба шаговых экстремальных регулятора не отключены ГИБУЭР;
- каждый из шаговых экстремальных регуляторов делает шаг только после завершения переходных процессов во всей системе управления;
- устойчивость системы управления оценивается при функционировании фильтра в окрестности рабочей точки;
- динамически меняющаяся постоянная времени в передаточных звеньях на входах объектов управления рассматривается как постоянная и принята равной 0,333, что соответствует функционированию фильтра в окрестности рабочей точки (средняя частота вращения дисков равна 1 об/мин);
- в объектах управления подсистем 2 и 3 зависимость $q = f_2(v, \rho, h)$ имеет экстремальный характер.

Устойчивость подсистемы 1 и внутреннего контура регулирования положения задвижки подсистемы 3 была доказана с использованием метода абсолютной устойчивости В.И. Попова [5].

Внутренний разомкнутый контур регулирования плотности пульпы подсистемы 2 является устойчивым, так как не содержит неустойчивых звеньев.

Устойчивость подсистем 2 и 3 доказана с помощью методики, представленной в работе Либерзона Л.М. и Родова А.Б. [4], используемой для оценки устойчивости подобных

экстремальных систем. В данной методике используется классический подход Ляпунова и рассматривается поведение отклонений от установившегося периодического движения [6].

В результате проведенной проверки была определена устойчивость каждого из контуров, входящих в состав разработанной системы управления с МКИ и ГИБУЭР. Отсюда можно сделать вывод о том, что при выполнении условий, приведённых выше, рассматриваемую систему управления можно считать устойчивой.

Было установлено, что внедрение разработанной системы управления позволит повысить производительность вакуум-фильтра на 3,5 %, снизить удельный расход используемых энергоресурсов, снизить износ исполнительных механизмов, сэкономить денежные средства предприятия (около 8 миллионов рублей в год при средней производительности отделения фильтрации порядка 450 т/ч).

Предложенная система управления может быть адаптирована для большого класса технологических агрегатов схожего принципа действия, применяемых в различных отраслях промышленности, таких как барабанный вакуум-фильтр, гипербарфильтр и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воловиков А.Ю. Экспериментальная установка для исследования процесса обезвоживания железорудного концентрата с использованием вакуумных дисковых фильтров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. №8. С. 300–303.
2. Ю.И. Еременко, С.Ю. Халапян, А.О. Анпилов, Повышение энергоэффективности процесса обезвоживания железорудного концентрата путём его автоматизации на основе нейросетевых технологий // Горный журнал. 2020. № 3. С. 62–66.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1972. – 786 с.
4. Либерзон Л.М. Системы экстремального регулирования / Л.М. Либерзон, А.Б. Родов. – М.–Л.: Энергия, 1965. – 160 с.
5. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – 2-е изд., перераб. и доп.— К.: Высш. шк. Головное изд-во, 1989. – 431 с.
6. Казакевич В.В. Об экстремальном регулировании, Диссертация, МВТУ, 1944.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ

Борисова М.А., Лебедев Т.С.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,
г. Челябинск, Россия*

***Аннотация.** Научная статья посвящена исследованию системы автоматизации перемещения электродов с целью повышения эффективности процесса плавки металла. Основная задача исследования заключается в проведении анализа и выборе оборудования, способного оптимизировать и автоматизировать перемещение электродов в процессе плавки. Дополнительно рассматриваются вопросы выбора и исследования программного и аппаратного обеспечения для автоматизированной системы.*

Исследование включает в себя анализ существующих технологий автоматизации, выбор оптимального оборудования, а также изучение программных решений, способных обеспечить надежное и эффективное перемещение электродов. Применение высокоточных систем управления, интеграция сенсоров и обратной связи, а также оптимизация программных алгоритмов представляются ключевыми аспектами исследования.

Ключевые слова: автоматизация; плавка металла; перемещение электродов; дуговые сталеплавильные печи; векторное управление; математическая модель; система автоматического управления.

AUTOMATION SYSTEM RESEARCH FOR ELECTRODE MOVEMENT

Borisova M.A., Lebedev T.S.

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

***Abstract.** This scientific article is dedicated to the investigation of an automation system for electrode movement aimed at enhancing the efficiency of the metal melting process. The primary objective of the research involves analyzing and selecting equipment capable of optimizing and automating the movement of electrodes during the melting process. Additionally, considerations are given to the selection and examination of software and hardware for the automated system.*

The study encompasses an analysis of existing automation technologies, the selection of optimal equipment, and the exploration of software solutions capable of ensuring reliable and efficient electrode movement. Key aspects of the research include the application of high-precision

control systems, integration of sensors and feedback, as well as the optimization of software algorithms.

Keywords: automation; metal melting; electrode movement; electric arc furnaces; vector control; mathematical model; automated control system.

Введение

Правильное расположение и управление электродами позволяет поддерживать стабильное горение электрической дуги, что в свою очередь обеспечивает равномерное и эффективное нагревание металла в печи, это отражается в работе [1]. Управление электродами обычно осуществляется с помощью автоматизированных систем, об этом рассказывается в работе [2], системы позволяют контролировать и регулировать их положение, длину, угол наклона и другие параметры, обеспечивая непрерывность и стабильность процесса плавки. В работах [3-6] предлагается создание автоматизированной системы перемещения электродов, которая позволит улучшить качество продукции, снизить затраты на производство и повысить безопасность труда. Использование дуговых печей необходимо для промышленных и научных исследований в области обработки металлов и сплавов. Система управления движением электродов позволит оптимизировать процесс плавления металла, сократить время на его подготовку и улучшить точность проводимых исследований. В работах [7-8] приводится успешный пример автоматизации этого процесса, который показывает, что использование системы управления движением электродов может значительно повысить эффективность работы дуговой печи.

Кроме того, модернизация системы перемещения электродов может способствовать более точным исследованиям в области электродной дуговой обработки, что в свою очередь может привести к созданию новых материалов с улучшенными свойствами.

Таким образом, создание системы управления движением электродов является актуальной задачей, решение которой позволит улучшить работу дуговых печей и провести более точные исследования в области электродной дуговой обработки.

Цель и задачи

Цель работы – проведение исследования системы автоматизации перемещения электродов для повышения эффективности процесса плавки металла

Задачи:

- провести анализ и выбор оборудования для автоматизированной системы перемещения электродов;
- провести выбор и исследование программного и аппаратного обеспечения автоматизированной системы перемещения электродов

Описание системы

В дуговых сталеплавильных печах, предназначенных для плавки металлических материалов, эффективное управление вводом электроэнергии является ключевым аспектом процесса. Это осуществляется при помощи автоматических регуляторов, которые мониторят фактические значения или соотношения регулируемых параметров. При отклонении этих параметров от установленных значений регуляторы воздействуют на механизм перемещения электродов, также известный как исполнительный механизм.

На рисунке 1 представлены основные компоненты этого механизма. Движение каретки ограничено путевыми конечными выключателями, обеспечивая контролируемую траекторию.

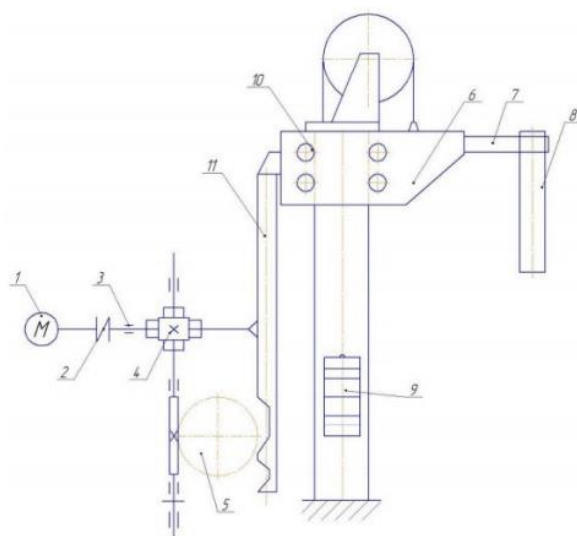


Рис. 1 – Кинематическая схема перемещения электродов

- 1 – электродвигатель механизма перемещения электродов, 2 – муфта, 3 – подшипник, 4 – червячный редуктор, 5 – реечная передача, 6 – каретка, 7 – электрододержатель, 8 – электрод, 9 – противовес, 10 – ролики, 11 – зубчатая рейка.

Механизм перемещения электродов с реечной передачей представляет собой один из наиболее распространенных и эффективных механизмов, применяемых в электродуговых печах. Его основные компоненты - зубчатые рейки и зубчатые колеса - обеспечивают плавное перемещение вдоль реек, обеспечивая надежную работу системы.

Разработанная САУ

Был выбран контроллер Siemens Simatic для обеспечения требований автоматизации производственных процессов. Центральный процессор объединяет микропроцессор, источник питания и схемы ввода/вывода в компактном корпусе, формируя мощный ПЛК. Программа загружается в центральный процессор, содержащий логику для управления устройством. Логика включает булеву логику, подсчет, отсчет времени, математические операции и связь с

другими устройствами. CPU имеет порт PROFINET для обмена данными и коммуникационные модули для сетей RS485 или RS232. Контроллер взаимодействует с системой SCADA, получая сигналы от датчиков положения электродов и управляя исполнительными механизмами для перемещения электродов.

Для соединения преобразователя частоты с контроллером, необходимо добавить коммуникационный модуль CM1241, в котором будет использоваться протокол Modbus. В данном модуле используется RS485/422 интерфейс, Ptp соединение и поддерживаются такие протоколы как ASCII, USS, Modbus RTU.

В качестве датчика скорости и положения выступает абсолютный энкодер Siemens 6FX2001-5HS24.

В качестве преобразователя частоты выбран ОВЕН ПКВ1-1К5-В, который может быть программируем и настраиваем через панель (вход/выход и RS-485).

Проектирование шкафа управления в Eplan начинается с создания нового проекта и установки параметров, таких как размеры и электробезопасность. Затем размещаются компоненты, включая контроллеры и устройства. Проводятся соединения между компонентами для создания электрической схемы. Результат представлен на рисунке 2.

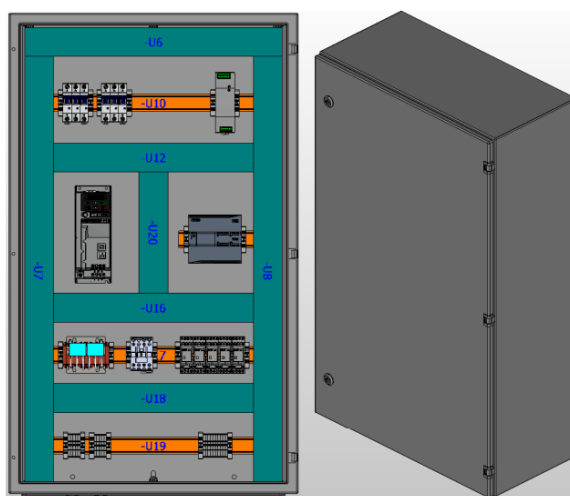


Рис. 2 – Шкаф управления вид спереди и вид сбоку

Для выполнения задачи управления следует использовать векторное управление. Такое управление позволяет регулировать скорость с высокой степенью точности и обеспечивает плавный пуск и плавное вращение двигателя, быстрое реагирование на изменение нагрузки и снижение потерь на нагрев и намагничивание. В процессе управления учитывается сигнал от датчика положения и подается опорный сигнал ($U_{зп}$) на регулятор положения.

Система управления включает Упрощенная функциональная схема системы автоматического управления приводом переноса электродов представлена на рисунке 3.

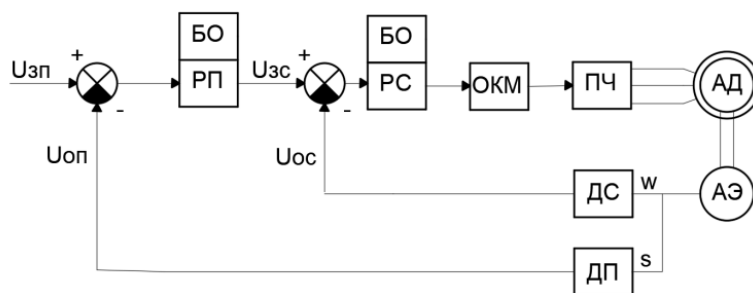


Рис. 3 – Упрощенная функциональная схема САР

АД – асинхронный двигатель, АЭ – датчик абсолютного отсчета, РС – регулятор скорости, РП – регулятор положения, ДП – датчик положения, ДС – датчик скорости, ПЧ – преобразователь частоты, БО – блок ограничителя, ОКМ – контур регулирования оптимизированного момента.

Математическая модель системы

В ходе исследования был проведен анализ доступного оборудования для автоматизации системы перемещения электродов в дуговых сталеплавильных печах. Для управления двигателем был выбран частотный преобразователь фирмы ОВЕН, модель ПЧВ1-1К5-В. Также были рассчитаны защитные устройства. Архитектура системы автоматизации была построена, включая выбор контроллера Siemens S7-1200 и абсолютного энкодера Siemens 6FX2001-5HS24. В среде Matlab Simulink была разработана математическая модель системы. Результаты моделирования позволили получить необходимый технологический процесс, соответствующий выдвинутым требованиям.

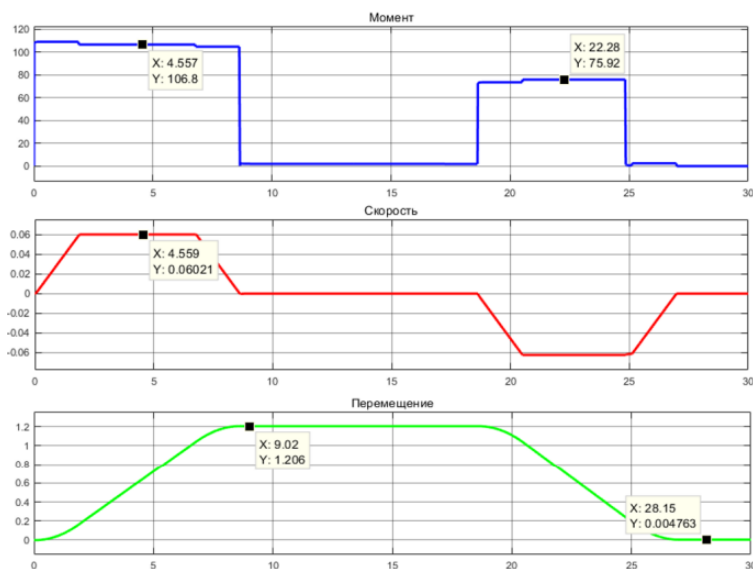


Рис. 4 – Результаты моделирования механизма перемещения электродов

Результаты моделирование отображены на рисунке 4. Математическая модель корректно отображает процессы, происходящие в двигателе механизма перемещения электродов – скорость равна 0,06 м/с. Ошибка перемещения при постановке составляет 0,6 мм, а при постановке на исходное положение = 0,47 мм, а следовательно, математическая модель системы рассчитана верно. Полученные результаты удовлетворяют заданным требованиям точности.

Заключение

Внедрение автоматизации в систему перемещения электродов в дуговых сталеплавильных печах обеспечивает более точное и быстрое управление процессом, что улучшает качество плавки и общую эффективность производства.

Экономические и технические преимущества включают оптимизацию производственных процессов, снижение ошибок и повышение производительности труда. Эти выгоды, в свою очередь, способствуют улучшению технико-экономических показателей предприятия, включая сокращение времени производства, уменьшение затрат на обслуживание и повышение общей эффективности использования ресурсов.

Таким образом, автоматизация системы перемещения электродов в сталеплавильном производстве приносит технико-экономическую выгоду предприятию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цуканов А.В., Лицин К.В. Разработка автоматизированной системы машины пакетной резки прокатного производства // Черные металлы. 2023. № 1. С. 38-43.
2. Николаев А.А., Ануфриев А.В., Корнилов Г.П., Ивекеев В.С., Ложкин И.А. Повышение эффективности работы сверхмощной дуговой сталеплавильной печи за счет использования системы диагностики стадий плавки по высшим гармоникам токов дуг // Технические науки – от теории к практике. 2013. №27-1.
3. Казачков Е.А., Чепурной А.Д. Пути повышения производительности дуговых сталеплавильных печей // ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». 2005. №15-1.
4. Мартынова Е.С. Автоматизированный контроль теплового состояния электродных печей при регулировании мощности электрической дуги // Санкт-Петербург 2019.
5. Лицин К.В., Макаров Я.В. Разработка цифрового двойника промышленного робота-манипулятора MOTOMAN MH-50 для выполнения сварочных операций сложных конструкций // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2022. Т. 78. № 6. С. 522-528.

6. Корнилов Г.П., Николаев А.А., Ячиков И.М., Карандаев А.С., Якимов И.А. Автоматическое управление электрическим режимом дуговой сталеплавильной печи по критерию постоянства активной мощности // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2017. №4.

7. Технология конструкционных и эксплуатационных материалов: учебник / Сергеев А.Н., Гвоздев А.Е., Сергеев Н.Н., Стариков Н.Е., Золотухин В.И., Бреки А.Д. – Тула, Изд-во ТулГУ, 2016. - 351 с.

8. Белодурин А.Д., Харлашкин К.Е., Гартлиб Е.А., Лицин К.В. Анализ системы автоматического управления на основе линейных регуляторов и прс-регуляторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 7. С. 377-381.

СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ МОСТОВЫМ КРАНОМ

Воробьев В.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
vorobev.vs@MISIS.ru

Аннотация. В работе одновременно решаются задачи слежения тележки мостового крана за заданной позицией и стабилизации груза на подвесе. Построена модель движения системы тележка – маятник. Для решения рассматриваемой проблемы построен нелинейный закон управления с помощью второго метода Ляпунова, гарантирующий асимптотическую устойчивость ошибки управления. Синтезированный закон был валидирован в рамках численных экспериментов. Полученные результаты моделирования позволяют говорить об эффективности предложенного решения.

Ключевые слова: мостовой кран; маятник; адаптивное управление; функция Ляпунова.

SYNTHESIS OF NONLINEAR CONTROL LAW FOR BRIDGE CRANES

Vorobiev V.S.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
vorobev.vs@MISIS.ru

Abstract. The work simultaneously solves the problems of tracking the overhead crane trolley for a given position and stabilizing the load on the suspension. A model of the motion of the trolley-pendulum system has been constructed. To solve the problem under consideration, a nonlinear control law was constructed using the second Lyapunov method, which guarantees the asymptotic stability of the control error. The synthesized law was validated in numerical experiments. The obtained simulation results indicate the effectiveness of the proposed solution.

Keywords: overhead crane; pendulum; adaptive control; Lyapunov function.

Для перемещения грузов в промышленности широко используются одноблочные мостовые краны. Движение тележки такого крана осуществляется по балочным рельсам за

счет силы, создаваемой электроприводом. Груз закрепляется к подвижной тележке с помощью гибких тросов. Это зачастую приводит к возникновению нежелательных колебаний груза в момент пуска тележки. Колебания в свою очередь становятся причиной динамических продольно-поперечных нагрузок как на рельсо-балочные конструкции, так и на сам электропривод. Кроме этого колебания продолжаются и после прибытия груза к месту. Это лишает возможности оперативного опускания массивного объекта на место прибытия и приводит к необходимости ожидания затухания гармонического движения маятника. Данные простои занимают до 20% времени работы крана [1].

Анализ литературы позволяет обнаружить множество публикаций, посвященных решению проблемы построения системы управления подобными объектами различными методами, такими как ПИД-регулирование [2], скользящие режимы, адаптивное управление, что еще раз подтверждает актуальность рассматриваемой задачи.

В работе одновременно решаются задачи слежения тележки мостового крана за заданной позицией и стабилизации груза на подвесе. Для решения рассматриваемой проблемы построен нелинейный закон управления с помощью второго метода Ляпунова, гарантирующий асимптотическую устойчивость ошибки управления. Синтезированный закон был валидирован в рамках численных экспериментов. Полученные результаты моделирования позволяют говорить об эффективности предложенного решения.

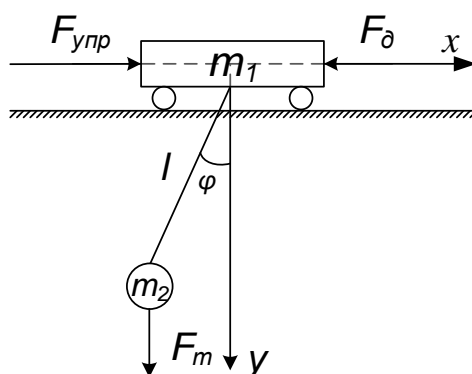


Рис. 1 – Схема системы тележка-маятник

Для математического описания объект управления (рисунок 1) с ошибкой слежения по перемещению тележки, воспользуемся готовыми выкладками [3]:

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = e_2, \\ \dot{e}_2 = c_{11} \cdot e_2 + c_{12} \cdot x_4 + g_1 + f_1 \\ \dot{x}_3 = x_4, \\ \dot{x}_4 = c_{21} \cdot x_2 + c_{22} \cdot x_4 + g_2 + f_2, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$e_1 = r - x_1,$$

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{k_1 \cdot m_2 - k_2 \cdot m_1}{m_2 \cdot (m_2 \cdot \sin^2(\varphi) + m_1)} + \frac{k_2}{m_3} & -\frac{m_2 \cdot \varphi' \cdot l \cdot \sin(\varphi)}{m_2 \cdot \sin^2(\varphi) + m_1} \\ \frac{(k_1 \cdot m_2 - k_2 \cdot m_1) \cdot \cos(\varphi)}{m_2 \cdot l \cdot (m_2 \cdot \sin^2(\varphi) + m_1)} & \frac{m_2 \cdot \varphi' \cdot \sin(2 \cdot \varphi)}{2 \cdot (m_2 \cdot \sin^2(\varphi) + m_1)} + \frac{k_2}{m_3} \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{m_2 \cdot g \cdot \sin(2 \cdot \varphi)}{2 \cdot (m_2 \cdot \sin^2(\varphi) + m_1)} \\ \frac{g \cdot (m_2 + m_1) \cdot \sin(\varphi)}{l \cdot (m_2 \cdot \sin^2(\varphi) + m_1)} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f}{m_2 \cdot \sin^2(\varphi) + m_1} \\ \frac{f \cdot \cos(\varphi)}{l \cdot (m_2 \cdot \sin^2(\varphi) + m_1)} \end{bmatrix},$$

Для первого и третьего уравнения системы (1) были определены функции Ляпунова:

$$V_1 = \frac{1}{2} \cdot e_1^2, \quad V_2 = \frac{1}{2} \cdot x_3^2. \quad (2)$$

Далее для этих функций были записаны производные. Для выполнения условий асимптотической устойчивости необходимо свести полученный результат к неравенству (3). Функции W_1 и W_2 , стоящие справа от знака неравенства, должны быть положительно определенными.

$$\dot{V}_1 \leq -W_1, \quad \dot{V}_2 \leq -W_2, \quad (3)$$

$$e_1 \cdot e_2 \leq -K_1 \cdot e_1^2, \quad x_3 \cdot x_4 \leq -K_2 \cdot x_3^2, \quad (4)$$

где K_1 и K_2 – выбираемые коэффициенты регулятора.

В полученных выражениях (4) нет сигнала управления. Поэтому необходимо ввести виртуальные управления (см. уравнения (5)) и ошибку отслеживания желаемого значения координат (см. уравнения (6)).

$$-K_1 \cdot e_1 = a_1, \quad -K_2 \cdot x_3 = a_2, \quad (5)$$

$$z_1 = e_2 - a_1, \quad z_2 = x_4 - a_2. \quad (6)$$

Динамика изменения введенных ошибок записывается по формулам:

$$\dot{z}_1 = \dot{e}_2 - \dot{a}_1 = c_{11} \cdot e_2 + c_{12} \cdot x_4 + g_1 + f_1 - \dot{a}_1, \quad (9)$$

$$\dot{z}_2 = \dot{x}_4 - \dot{a}_2 = c_{21} \cdot x_2 + c_{22} \cdot x_4 + g_2 + f_2 - \dot{a}_2. \quad (10)$$

Далее выберем функцию Ляпунова (11), которая включает в себя как e_1 и x_3 , так и z_1 и z_2 . W_3 имеет вид уравнения (12).

$$V_3 = \frac{1}{2} \cdot e_1^2 + \frac{1}{2} \cdot x_3^2 + \frac{1}{2} \cdot z_1^2 + \frac{1}{2} \cdot z_2^2, \quad (11)$$

$$W_3 = K_1 \cdot e_1^2 + K_2 \cdot x_3^2 + K_3 \cdot z_1^2 + K_4 \cdot z_2^2, \quad (12)$$

где K_3 и K_4 – выбираемые коэффициенты регулятора.

Пользуясь неравенством (3), запишем:

$$\dot{V} = e_1 \cdot \dot{e}_1 + x_3 \cdot \dot{x}_3 + z_1 \cdot \dot{z}_1 + z_2 \cdot \dot{z}_2 \leq -K_1 \cdot e_1^2 - K_2 \cdot x_3^2 - K_3 \cdot z_1^2 - K_4 \cdot z_2^2. \quad (13)$$

Подставляя в формулу (14) выражения для \dot{e}_1 , \dot{x}_3 , \dot{z}_1 , \dot{z}_2 , получаем закон управления:

$$f = \frac{a_{10} + a_{11} + a_{12} + a_{13} + a_{14} - a_{15} + a_{16} + a_{17} + a_{18}}{a_9 \cdot x_4 + (K_2 \cdot a_9 \cdot x_3 - (a_4 \cdot e_2 + K_1 \cdot a_4 \cdot e_1))}, \quad (14)$$

где

$$a_{10} = \left(\begin{array}{l} K_1 \cdot a_8 \cdot x_4 + K_1 \cdot K_2 \cdot a_8 \cdot x_3 + (K_1^2 - 1 - K_1 \cdot a_1) \cdot e_2 + \\ + (K_1^3 - K_1 - K_1^2 \cdot a_1) \cdot e_1 \end{array} \right) \cdot r, \quad a_{13} = (K_2 \cdot a_6 - (2 \cdot K_2 \cdot K_4 + K_2^2 + 1)) \cdot x_3 + \\ + a_7 - a_8 \cdot (2 \cdot K_1 \cdot x_1 + x_2),$$

$$a_{12} = (K_2 \cdot a_5 \cdot x_3 + a_6 - (K_4 + K_2) - K_1 \cdot a_2 \cdot e_1 - a_2 \cdot e_2) \cdot x_4^2, \quad a_{14} = -K_2 \cdot x_3 \cdot (a_8 \cdot e_2 + 2 \cdot K_1 \cdot a_8 \cdot e_1 - a_7),$$

$$a_{15} = K_2 \cdot (K_2 \cdot K_4 + 1) \cdot x_3^2, \quad a_{16} = (a_1 - (K_3 + K_1)) \cdot e_2^2, \quad a_{17} = ((3 \cdot K_1 \cdot a_1 + 1 - 3 \cdot K_1^2 - 2 \cdot K_1 \cdot K_3) \cdot e_1 - a_3) \cdot e_2,$$

$$a_{11} = a_5 \cdot x_4^3, \quad a_{18} = K_1 \cdot ((2 \cdot K_1 \cdot a_1 + 1 - 2 \cdot K_1^2 - K_1 \cdot K_3) \cdot e_1 - a_3) \cdot e_1,$$

$$a_1 = \frac{k_1 \cdot m_2 - k_2 \cdot m_1}{m_2 \cdot (m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1)} + \frac{k_2}{m_2}, \quad a_2 = \frac{m_2 \cdot l \cdot \sin(x_3)}{m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1}, \quad a_3 = \frac{m_2 \cdot g \cdot \sin(2 \cdot x_3)}{2 \cdot (m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1)},$$

$$a_4 = \frac{1}{m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1}, \quad a_5 = \frac{m_2 \cdot \sin(2 \cdot x_3)}{2 \cdot (m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1)}, \quad a_6 = \frac{k_2}{m_2}, \quad a_7 = \frac{(m_2 + m_1) \cdot g \cdot \sin(x_3)}{l \cdot (m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1)},$$

$$a_8 = \frac{(k_1 \cdot m_2 - k_2 \cdot m_1) \cdot g \cdot \cos(x_3)}{m_2 \cdot l \cdot (m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1)}, \quad a_9 = \frac{\cos(x_3)}{l \cdot (m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1)}.$$

Полученный закон управления (14) обеспечивает асимптотическую сходимость к нулю расширенной ошибки $[e1; x3]$.

Для проведения численного эксперимента использовалась среда MATLAB Simulink. Параметры модели объекта управления взяты из государственного стандарта РФ «Краны мостовые электрические однобалочные опорные» (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Параметры модели крана

m_1 , kg	m_2 , kg	k_1	k_2	l , m	g , m/s ²
4660	800	0.003	2.368	1	9.81

Таблица 2 – Параметры регуляторов

K_1	K_2	K_3	K_4
0.311	9.54	6.473	3.723

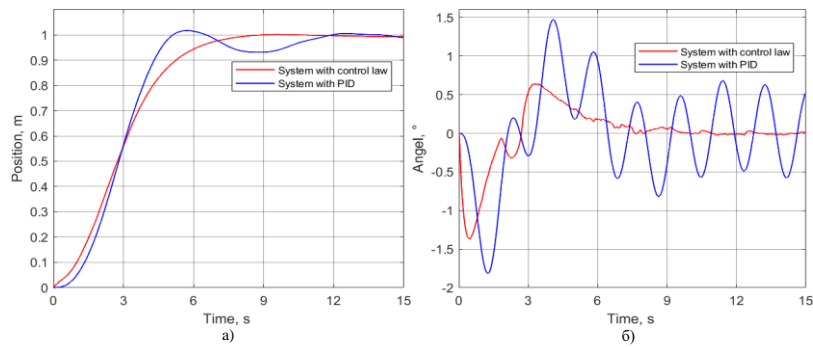


Рис. 2 – а) – график изменения положения тележки, б) – график изменения отклонения груза от вертикали.

Анализ результатов экспериментов показывает, что система управления с синтезированным в данной работе регулятором быстрее выходит на задание по положению с меньшими колебаниями груза в сравнении с PID.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов А.С., Краснова С.А. Методы демпфирования колебаний груза и робастного управления ходовой тележкой мостового крана с учетом динамики электропривода. Мехатроника, автоматизация, управление. 2023;24(8):412-420.
2. N. Sun, T. Yang, Y. Fang, Y. Wu, and H. Chen, “Transportation control of double-pendulum cranes with a nonlinear quasi-PID scheme: Design and experiments,” IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. Syst., vol. 49, no. 7, pp. 1408–1418, Jul. 2019.
3. Petrov V. et al. Nonlinear Control Law Design for Overhead Crane to Suppress Load Oscillations //2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – IEEE, 2023. – С. 110-114.

РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАЦИИ 1С ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ПРЕДПРИЯТИЯ (ОРГАНИЗАЦИИ)

Гаджиева У.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, Липецк
398046, г. Липецк, ул. П.И. Смородина, д. 14, кв. 253, +7(920)537-07-48
ulyagadjieva2000@gmail.com*

***Аннотация.** В статье описывается разработка прикладного решения на платформе «1С: Предприятие» для бизнес-процесса «Оказание образовательных услуг в рамках федерального IT-проекта «Код будущего».*

Ключевые слова: платформа; информационная система; автоматизация; бизнес-процесс.

DEVELOPMENT OF A 1C CONFIGURATION FOR THE IMPLEMENTATION OF A BUSINESS PROCESS OF AN ENTERPRISE (ORGANIZATION)

Gadjieva U.

*Lipetsk State Technical University Russia, Lipetsk
398046, Lipetsk, st. P.I. Smородina, 14, apt. 253, +7(920)537-07-48
ulyagadjieva2000@gmail.com*

***Abstract.** The article describes the development of an application solution on the 1C: Enterprise platform for the business process «Providing educational services within the framework of the federal IT project «Code of the Future».*

Keywords: platform; information system; automation; business process.

Современное предприятие невозможно представить без применения в его хозяйственной деятельности информационных систем управления. Как правило, автоматизация затрагивает лишь часть бизнес-процессов на различных уровнях управления – так называемые локальные автоматизированные информационные системы (АИС). Предприятие, ограничивающееся в своей деятельности исключительно локальными ИС, не может оставаться конкурентоспособным на рынке. Требуется внедрение полноресурсной ИС, позволяющей автоматизировать все бизнес-процессы и обладающей возможностью

корпоративного доступа и управления. Речь идет об интегрированных корпоративных информационных системах (ИКИС).

Сегодня неоспоримым лидером по разработке и продаже программных продуктов, предназначенных для автоматизации (полной или частичной) управления и учета финансовых операций вне зависимости от вида экономической деятельности, является российская компания «1С».

В частности, платформа «1С: Предприятие 8.3» ориентируется на решение прикладных задач по индивидуальным запросам компании. Существенные изменения, коснувшиеся данной версии платформы, позволяют облегчить и ускорить работу программистов, пользователей и администраторов.

Для автоматизации бизнес-процесса «Оказание образовательных услуг в рамках федерального IT-проекта «Код будущего» на платформе «1С: Предприятие 8.3» (учебная версия) была разработана авторская конфигурация.

«Код будущего» – федеральная образовательная программа для школьников 8-11 классов и студентов СПО, которая позволяет им освоить популярные языки программирования и получить востребованную IT-специальность за счет государства. Обучение в рамках проекта длится год и реализуется на территории всех субъектов РФ.

С 2022 года MAXIMUM Education является официальным провайдером проекта «Код будущего». В сентябре 2023 года очные занятия в рамках проекта были запущены на базе школ, колледжей и ВУЗов Липецка и Липецкой области. Регистрация участников на проект осуществляется через портал Госуслуг, педагоги образовательных организаций проходят предварительное обучение и аттестацию на платформе MAXIMUM Education.

Для описания бизнес-процесса была использована нотация для моделирования IDEF0 (рис.1).

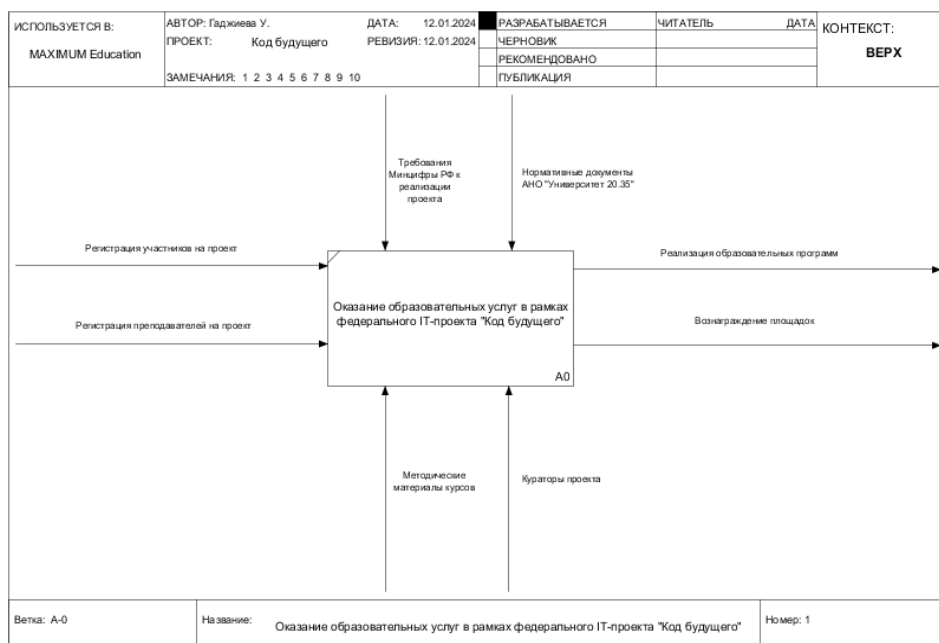


Рис. 1 – Общая схема бизнес-процесса «Оказание образовательных услуг в рамках федерального IT-проекта «Код будущего»»

Разработанная конфигурация состоит из: 5 справочников, 3 документов, 2 регистров накопления, 2 отчетов и 3 макетов. Дерево конфигурации представлено на рис.2.

Более подробно рассмотрим структуру и функциональные опции перечисленных объектов конфигурации.

Начнем со справочников. В разработанной конфигурации в соответствии с автоматизируемым процессом сформированы справочники: «Участники проекта», «Площадки», «Программы», «Преподаватели», «Модули обучения».

Как известно, справочник может содержать произвольное количество однотипных элементов, его предназначение – хранение условно постоянных данных.

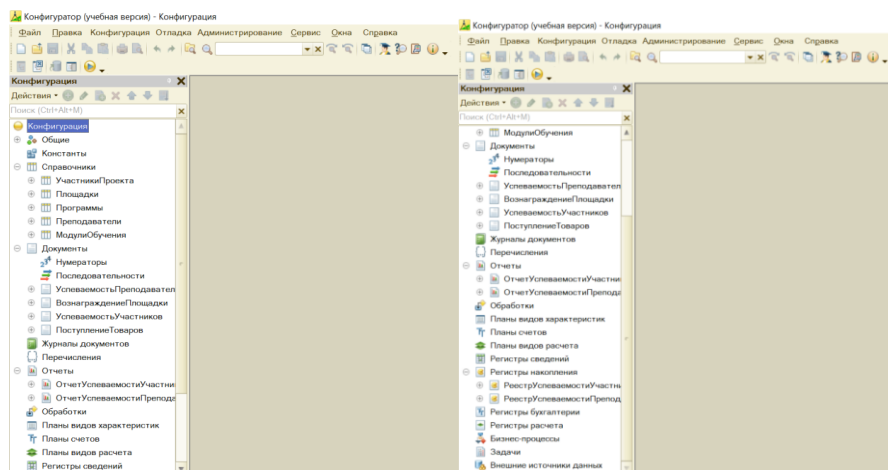


Рис. 2 – Дерево конфигурации

Например, справочник «Участники проекта» служит для сбора информации об учащих-участниках проекта и содержит такие реквизиты, как: площадка (реквизит ссылочного типа), телефон, почта и программа (реквизит ссылочного типа). У справочника есть стандартные реквизиты (реквизиты по умолчанию): наименование и код. В разработанной конфигурации в справочнике «Участники проекта» в качестве стандартных реквизитов указаны номер заявления с Госуслуг (код) и ФИО (наименование) (рис.3.).

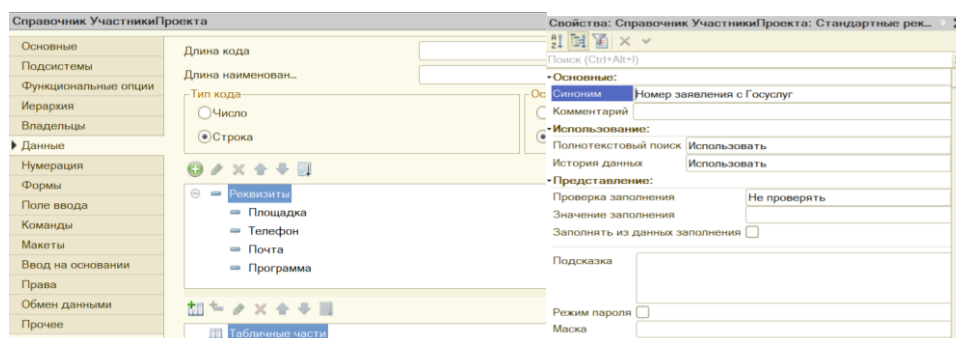


Рис. 3 – Структура и оформление справочника «Участники проекта»

Аналогичные по структуре и оформлению справочники «Площадки», «Программы», «Преподаватели», «Модули обучения».

Показателями эффективности реализации проекта «Код будущего» являются успеваемость участников и успеваемость преподавателей. В разработанной конфигурации созданы соответствующие элементы конфигурации – документы «Успеваемость участников», «Успеваемость преподавателей» и «Вознаграждение площадки».

Документ «Успеваемость участников» применяется для того, чтобы производить в нем расчет успеваемости каждого учащегося. В табличной части документа имеются реквизиты: ФИО (реквизит ссылочного типа), Программа (реквизит ссылочного типа), Модуль обучения (реквизит ссылочного типа), ДЗ, Посещаемость, Аттестация, Итоги модуля.

Успеваемость участников (итоги модуля) складывается из 3 параметров: выполнение ДЗ, посещаемость и аттестация. Для автоматического расчета данных показателей используется форма документа «Успеваемость участников» и его модуль при помощи создания обработчика события «ПриИзменении» поля табличной части «Успеваемость участников» (рис.4). Причем в режиме «1С: Предприятие» строка табличной части «Итоги модуля» недоступно пользователю для заполнения.

ФИО	Модуль обучения	Программа	ДЗ	Посещаемость	Аттестация	Итоги модуля
Валнер Дмитрий Валерьевич	1 модуль (началь...	Графический дизайн	50	50	50	150
Злобин Егор Сергеевич	1 модуль (началь...	Программирование на Ру...	70	65	80	215
Господарикова Полина Олеговна	1 модуль (началь...	Программирование сайтов	89	90	90	269

Рис. 4 – Реализация автоматического подсчета итогов модуля в режиме конфигуратора и «1С: Предприятие»

Следующий объект конфигурации – регистр накоплений. Регистр накопления – это таблица базы данных, куда попадает информация, поставляемая из других объектов конфигурации. Отличительная особенность регистра накоплений заключается в том, что в режиме «1С: Предприятие» он недоступен для редактирования пользователем.

Для документов «Успеваемость участников» и «Успеваемость преподавателей» были сформированы 2 регистра накоплений – «Реестр успеваемости участников» и «Реестр успеваемости преподавателей» соответственно.

Вид регистров – регистр оборотов. Обязательные элементы регистра – измерения и ресурсы. В данном примере измерением будут участники проекта/преподаватели (их ФИО, ссылочный тип), а ресурсами – ключевая информация, которую мы хотим сохранить при проведении документа в регистре, т.е. итоговые результаты обучения – Итоги модуля участников и Итоги обучения преподавателей (рис.5).

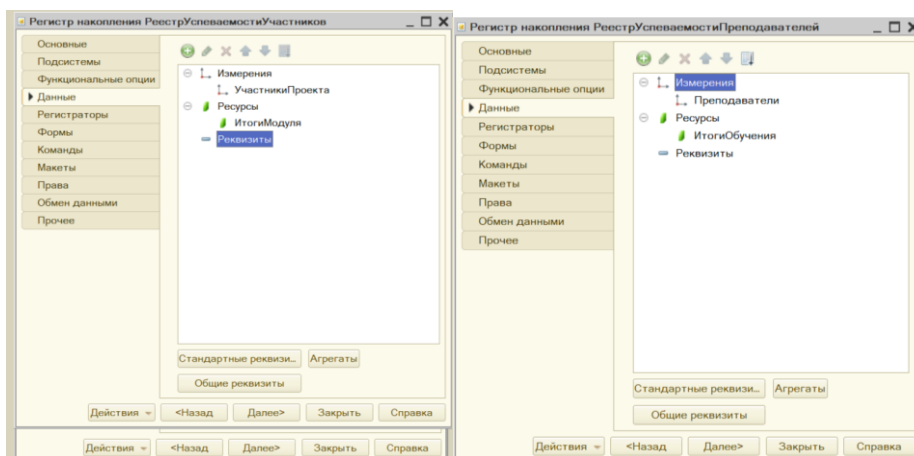


Рис. 5 – Структура регистров накопления «Реестр успеваемости участников» и «Реестр успеваемости преподавателей»

После создания регистров накопления целесообразно перейти к следующему объекту конфигурации – простому отчету.

Отчет – это объект конфигурации, который выполняет функцию описания алгоритмов, при помощи которых пользователь платформы получает все необходимые ему данные: сводные таблицы, графики, диаграммы.

Основой любого отчета служит схема компоновки данных, после чего создается новый набор данных – запрос, текст запроса формирует конструктор запроса.

Наглядно структура отчета «Успеваемость участников за 1 модуль» представлена на рис.6.

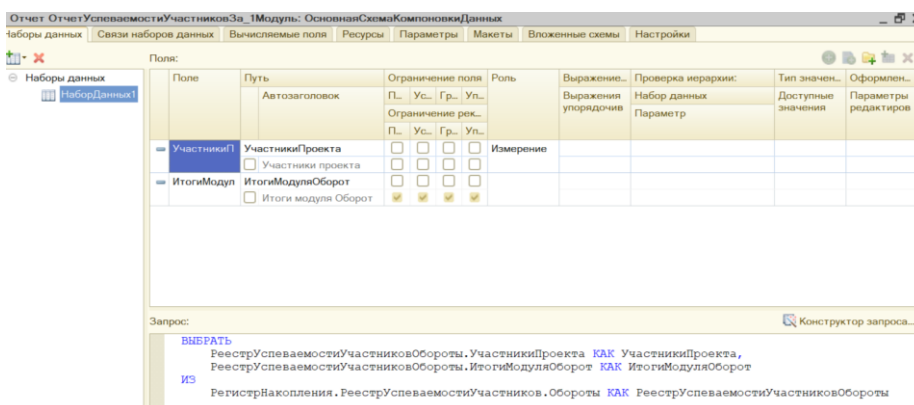


Рис. 6 – Схема компоновки данных для отчета «Успеваемость участников за 1 модуль»

Внешний вид разработанного отчета в режиме «1С: Предприятие» приведен на рис.7.

Участники проекта	Итоги модуля	Оборот
Левин Александр Сергеевич	240	
Мурадян Марат Галисович	220	
Морозов Вадим Витальевич	184	
Потапов Михаил Александрович	182	
Ненашев Даниил Владимирович	277	
Вагнер Дмитрий Валерьевич	150	
Соломакин Максим Дмитриевич	280	
Полосатова Кристина Борисовна	191	
Карих Сергей Дмитриевич	240	
Полымаров Дмитрий Алексеевич	81	
Полосатов Константин Борисович	188	
Крюков Андрей Юрьевич	300	
Коршунов Александр Владимирович	200	
Митракин Илья Геннадьевич	183	
Четвертя Даниил Андреевич	285	
Господарикова Полина Олеговна	269	
Иванов Иван Иванович	212	
Тарнушкина Надежда Сергеевна	270	
Злобин Егор Сергеевич	215	

Рис. 7 – Внешний вид отчета «Успеваемость участников за 1 модуль» в режиме «1С: Предприятие»

И, наконец, последний объект конфигурации, необходимый пользователю при автоматизации бизнес-процесса «Оказание образовательных услуг в рамках федерального IT-проекта «Код будущего» – макет.

В данном случае главное предназначение макета заключается в создании печатной формы документов. Рассмотрим создание макета документа «Успеваемость участников» с возможностью автоматического расчета среднего значения параметров «ДЗ», «Посещаемость», «Аттестация».

При помощи конструктора печати создается печатная форма документа «Успеваемость участников», которая содержит те же самые реквизиты документа, табличную часть и ее реквизиты.

В модуле менеджера документа «Успеваемость участников» находим процедуру «Печать» и редактируем ее следующим образом (рис.8,9).

```

[[[Процедура Печать(ТабДок, Ссылка) Экспорт
//[[[ КОНСТРУКТОР_ПЕЧАТИ(Печать)
Макет = Документы.УспеваемостьУчастников.ПолучитьМакет("ПечатнаяФормаУспеваемостиУчастников");
Запрос = Новый Запрос;
Запрос.Текст =
"ВЫБРАТЬ
| ДокУспеваемостьУчастников.Дата,
| ДокУспеваемостьУчастников.Номер,
| ДокУспеваемостьУчастников.УспеваемостьУчастников.(
|   НомерСтроки,
|   ФИО,
|   ДЗ,
|   Посещаемость,
|   Аттестация,
|   ИтогиМодуля,
|   МодульОбучения,
|   Программа
| )
| ИЗ
| Документ.УспеваемостьУчастников КАК ДокУспеваемостьУчастников
| ГДЕ
|   УспеваемостьУчастников.Ссылка В (&Ссылка)";
Запрос.Параметры.Вставить("Ссылка", Ссылка);
Выборка = Запрос.Выполнить().Выбрать();

ОбластьЗаголовков = Макет.ПолучитьОбласть("Заголовков");
Шапка = Макет.ПолучитьОбласть("Шапка");
ОбластьУспеваемостьУчастниковШапка = Макет.ПолучитьОбласть("УспеваемостьУчастниковШапка");
ОбластьУспеваемостьУчастников = Макет.ПолучитьОбласть("УспеваемостьУчастников");
ОбластьСредниеПоказатели = Макет.ПолучитьОбласть("СредниеПоказателиУспеваемости");
СреднееДЗ = 0;
СреднееПосещаемость = 0;
СреднееАттестация = 0;
КоличествоУчастников = 0;
ТабДок.Очистить();
]]]]

```

Рис. 8 – Печать формы документа

```

ВставитьРазделительСтраниц = Ложь;
Пока Выборка.Следующий() Цикл
Если ВставитьРазделительСтраниц Тогда
    ТабДок.ВывестиГоризонтальныйРазделительСтраниц();
КонецЕсли;

ТабДок.Вывести(ОбластьЗаголовков);

Шапка.Параметры.Заполнить(Выборка);
ТабДок.Вывести(Шапка, Выборка.Уровень());

ТабДок.Вывести(ОбластьУспеваемостьУчастниковШапка);
ВыборкаУспеваемостьУчастников = Выборка.УспеваемостьУчастников.Выбрать();
Пока ВыборкаУспеваемостьУчастников.Следующий() Цикл
    ОбластьУспеваемостьУчастников.Параметры.Заполнить(ВыборкаУспеваемостьУчастников);
ТабДок.Вывести(ОбластьУспеваемостьУчастников, ВыборкаУспеваемостьУчастников.Уровень());
СреднееДЗ = СреднееДЗ + ВыборкаУспеваемостьУчастников.ДЗ;
СреднееПосещаемость = СреднееПосещаемость + ВыборкаУспеваемостьУчастников.Посещаемость;
СреднееАттестация = СреднееАттестация + ВыборкаУспеваемостьУчастников.Аттестация;
КоличествоУчастников = КоличествоУчастников + 1;
КонецЦикла;
ОбластьСредниеПоказатели.Параметры.СреднееДЗ = СреднееДЗ/КоличествоУчастников;
ОбластьСредниеПоказатели.Параметры.СреднееПосещаемость = СреднееПосещаемость/КоличествоУчастников;
ОбластьСредниеПоказатели.Параметры.СреднееАттестация = СреднееАттестация/КоличествоУчастников;
ТабДок.Вывести(ОбластьСредниеПоказатели);
ВставитьРазделительСтраниц = Истина;
КонецЦикла;
//1
КонецПроцедуры

```

Рис. 9 – Печать формы документа (продолжение)

Запустив «1С: Предприятие» в режиме отладки, видим результат внесенных изменений (рис.10).

Успеваемость участников (средние показатели)

Номер 1
Дата 28.12.2023 18:52:00

№	ФИО	ДЗ	Посещаемость	Аттестация	Итоги модуля	Модуль
1	Вагнер Дмитрий Валерьевич	50	50	50	150	1 модуль (начальны
2	Злобин Егор Сергеевич	70	65	80	215	1 модуль (начальны
3	Господарикова Полина Олеговна	89	90	90	269	1 модуль (начальны
4	Иванов Иван Иванович	78	64	70	212	1 модуль (начальны
5	Карих Сергей Дмитриевич	90	80	70	240	1 модуль (начальны
6	Коршунов Александр Владимирович	100	50	50	200	1 модуль (начальны
7	Крюков Андрей Юрьевич	100	100	100	300	1 модуль (начальны
8	Левин Александр Сергеевич	88	59	93	240	1 модуль (начальны
9	Логина Екатерина Владимировна	100	90	80	270	1 модуль (начальны
10	Митряхин Илья Геннадьевич	46	65	72	183	1 модуль (начальны
11	Морозов Валентин Витальевич	56	40	70	184	1 модуль (начальны
12	Мурадян Марат Гагикович	100	50	70	220	1 модуль (начальны
13	Ненашев Даниил Владимирович	99	89	89	277	1 модуль (начальны
14	Поликарпов Дмитрий Алексеевич	22	10	49	81	1 модуль (начальны
15	Полосатов Константин Борисович	67	52	69	188	1 модуль (начальны
16	Потапов Михаил Александрович	56	49	77	182	1 модуль (начальны
17	Соломахин Максим Дмитриевич	100	90	90	280	1 модуль (начальны
18	Тарнушкина Надежда Сергеевна	90	100	80	270	1 модуль (начальны
19	Четверня Данил Андреевич	95	95	95	285	1 модуль (начальны
20	Полосатова Кристина Борисовна	51	68	72	191	1 модуль (начальны
Средние показатели		77,35	68,25	76,25		

Рис. 10 – Печатная форма документа «Успеваемость участников» в режиме «1С: Предприятие»

В работе представлена авторская конфигурация на платформе «1С: Предприятие 8.3» (учебная версия) для автоматизации бизнес-процесса «Оказание образовательных услуг в рамках федерального IT-проекта «Код будущего». Разработанная конфигурация удобна и проста даже для неопытного пользователя. Данный прототип в дальнейшем может быть усовершенствован внедрением в конфигурацию дополнительных возможностей для реализации прикладного проектного решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мишина С.В. Использование системы «1С: Предприятие 8» в условиях компетентностного подхода в системе высшего образования // ТТПС. 2016. №4 (38). С. 55-58.
2. Федотов В.А. Разработка прикладного решения на платформе «1С: Предприятие» для оптовой компании // Форум молодых ученых. 2021. №2 (54). С. 254-275.
3. Хрусталева Е.Ю., Радченко М.Г. «1С: Предприятие 8.3». Практическое пособие разработчика. Примеры и типовые приемы. – М.: 1С – Паблишинг, 2013. – 964.
4. MAXIMUM Education. Код будущего [Электронный ресурс]: Официальный сайт. URL: <https://maximumtest.ru/programmirovanie/kod-budushchego> (дата обращения: 10.01.2024).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОЙ МАШИНЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЗАПАЗДЫВАНИЯ В КАНАЛЕ ДПР-ДМ-Ф

Гамбург К.С., Уварова И.В., Лазарева Т.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. В статье рассматривается влияние запаздывания в канале ДПР-ДМ-Ф при моделировании вентильной машины на примере синхронного двигателя с возбуждением постоянными магнитами IFT6132-6WD7 и двухполюсного датчика положения ротора (резольвера).

Ключевые слова: синхронный двигатель; вентильная машина; датчик положения ротора.

MODELING OF VALVE MACHINE TAKEN INTO ACCOUNT OF THE INFLUENCE OF DELAY IN THE DPR-DM-F CHANNEL

Gamburg K.S., Uvarova I.V., Lazareva T.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article examines the effect of delay in the DPR-DM-F channel when modeling a switched-type machine using the example of a synchronous motor with permanent magnet excitation IFT6132-6WD7 and a bipolar rotor position sensor (resolver).

Keywords: synchronous motor; valve machine; rotor position sensor.

Уравнения синхронной машины во вращающейся системе координат, не учитывающие влияние запаздывания в канале ДПР-ДМ-Ф [1], представлены ниже.

$$\bar{u}_d = \bar{i}_d + T_s \frac{d\bar{i}_d}{dt} - \bar{\omega} T_s \bar{i}_q \quad (1)$$

$$\bar{u}_q = \bar{i}_q + T_s \frac{d\bar{i}_q}{dt} + \bar{\omega} T_s \bar{i}_d + \bar{\omega} \quad (2)$$

$$T_m \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} = \bar{m} - \bar{m}_H \quad (3)$$

$$\bar{m} = \bar{i}_q \quad (4)$$

где относительные переменные и параметры определены выражениями:

$$\bar{u} = \frac{\bar{u}}{U_b} \quad (5)$$

$$\bar{i} = \frac{\bar{i}}{I_b} \quad (6)$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_b} \quad (7)$$

$$\bar{m} = \frac{M}{M_b} \quad (8)$$

$$\bar{T}_s = \frac{\omega_b L_s}{R_s}, \quad (9)$$

где L_s – индуктивность статора, Гн.

$$L_s = \frac{x_s}{2 \cdot \pi \cdot f_{НОМ}} \quad (10)$$

$$L_s = \frac{0,0018}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,732 \cdot 10^{-6}; L_s = 5,732 * 10^{-6} \text{ Гн}$$

Тогда постоянную времени статора определим по формуле (9):

$$\bar{T}_s = \frac{915,57 \cdot 5,732 \cdot 10^{-6}}{0,057} = 0,0957; T_s = 0,0957 \text{ о.е.}$$

Постоянная времени механической части определяется по формуле (11).

$$\bar{T}_m = \frac{J_{ДВ} \cdot \omega_b^2}{M_b} \quad (11)$$

$$\bar{T}_m = \frac{0,043 \cdot 951,57^2}{9990,42} = 3,897; T_s = 3,897 \text{ о.е.}$$

Для учета влияния запаздывания в канале ДПР-ДМ-Ф определим напряжения u'_d, u'_q в системе координат d', q в относительных величинах:

$$\bar{u}'_d = \bar{u}_d \cos \bar{\omega T}_\Phi - \bar{u}_q \sin \bar{\omega T}_\Phi \quad (12)$$

$$\bar{u}'_q = \bar{u}_d \sin \bar{\omega T}_\Phi + \bar{u}_q \cos \bar{\omega T}_\Phi, \quad (13)$$

где

$$\bar{T}_\Phi = \omega_b T_\Phi \quad (14)$$

Модель вентильной машины с блоком запаздывания в общем виде представлена на рис.

1.

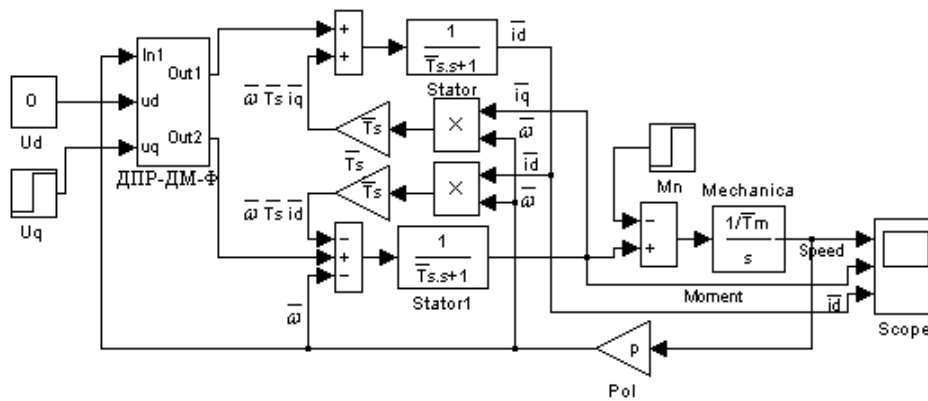


Рис. 1 – Модель ВМ с блоком запаздывания в общем виде

Модель содержит собственно синхронный двигатель и блок, учитывающий запаздывание в канале ДПР-ДМ-Ф. Блок приведен на рис 2.

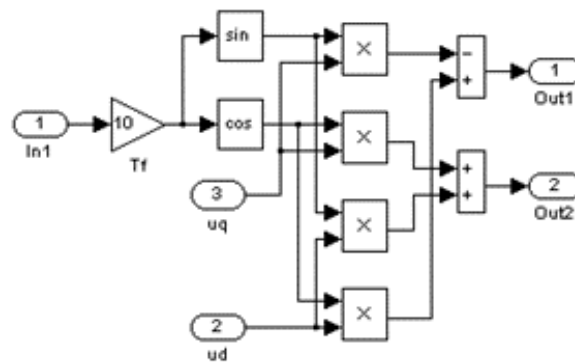


Рис. 2 – Блок, учитывающий запаздывание в канале ДПР-ДМ-Ф

Моделирование проводилось для двигателя 1FT6132-6WD7 [2] и двухполюсного датчика положения ротора (резольвера) [3]. (Расчёт базовых значений переменных и относительных параметров в данной статье не приводятся.) Модель с расчётными данными приведена на рис.3.

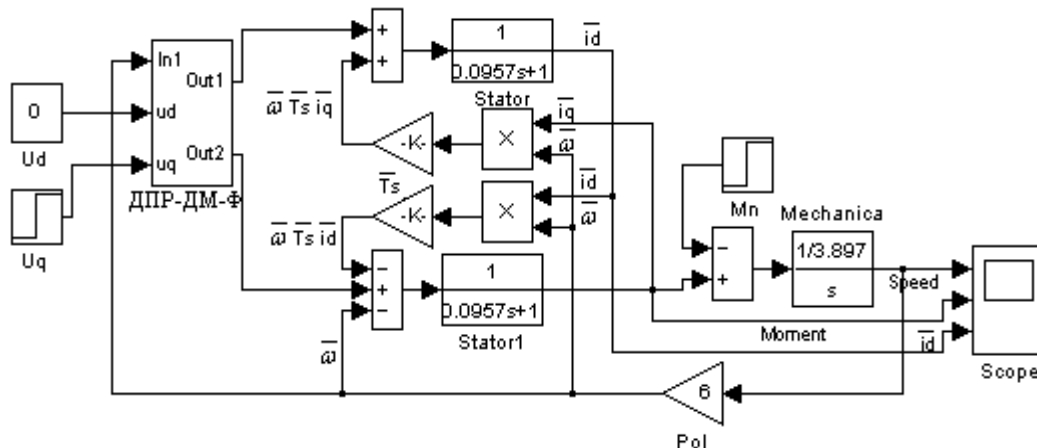


Рис. 3 – Модель ВМ с блоком запаздывания с расчётными величинами

Результаты моделирования для задающих сигналов $\bar{i}_d = 0$, $\bar{i}_q = 1.0$ представлены на рис. 4. Здесь: верхняя кривая – скорость вращения ротора, средняя кривая - момент и нижняя кривая - ток по оси d .

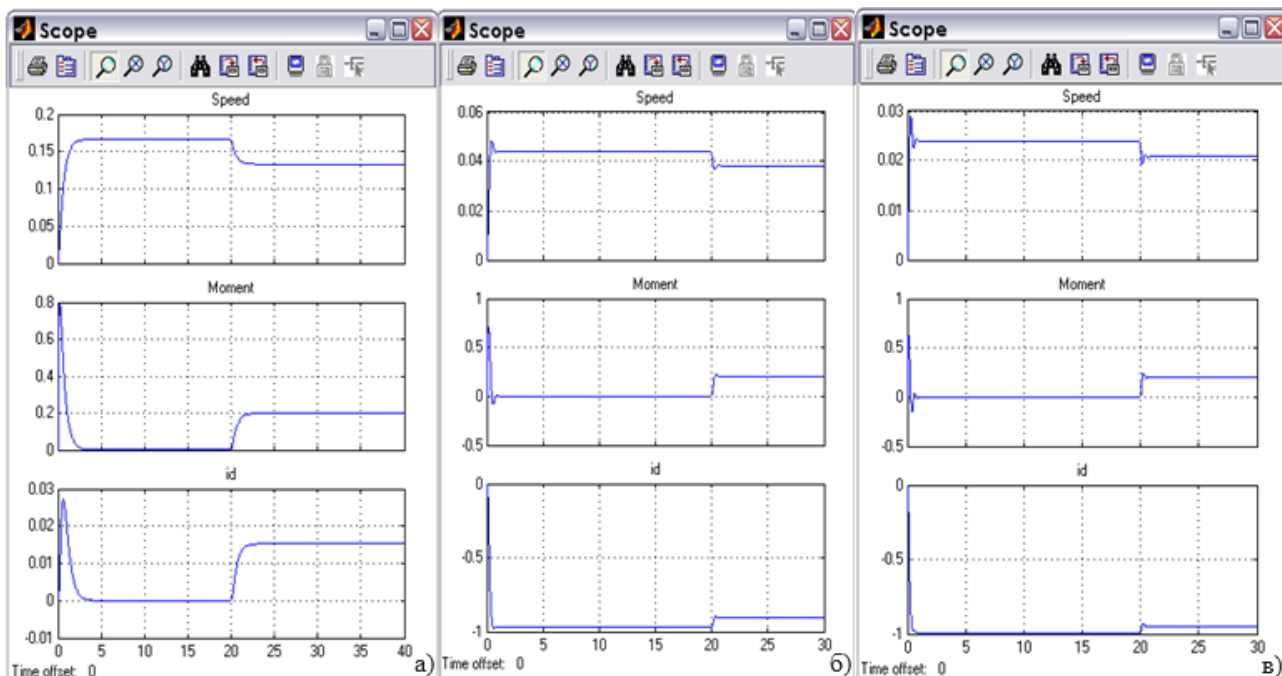


Рис. 4 – Переходные процессы ВМ: а) при $\bar{T}_\phi = 0$, б) при $\bar{T}_\phi = 3.33$, в) при $\bar{T}_\phi = 10.0$

Отметим две принципиальные особенности вентильной машины:

- Номинальная скорость вращения меньше заданной скорости холостого хода.
- Значительный ток по продольной оси d .

Эти особенности при учете дополнительного запаздывания в канале ДПР-ДМ-Ф выражены в большей степени, чем без него.

Они объясняются наличием перекрестных связей в самой машине, наличием постоянной времени в цепи ротора и наличием запаздывания в канале ДПР-ДМ-Ф. Динамика и статика ВМ в сильной степени зависит от значения постоянной времени \bar{T}_ϕ .

Перекрестные связи и инерционность в канале управления приводит также к увеличению тока холостого хода, значит, и к ухудшению энергетических характеристик.

Таким образом, если сравнивать вентильную машину с машиной постоянного тока, то в установившемся режиме ухудшаются механические, регулировочные и энергетические характеристики. Однако, эти ухудшения не носят фатальный характер.

Что же касается динамики, то результаты моделирования показывают, что вентильная машина практически аналогична машине постоянного тока, что для высоко динамичных

приводов имеет решающее значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование вентильного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/48245> (дата обращения 05.12.2023 г.).
2. Синхронные двигатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://vecgroup.com/> (дата обращения 05.12.2023 г.).
3. Резольвер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://fenco.ru/blog/tekhnologii/rezolvery/> (дата обращения 05.12.2023 г.).

МИНИМИЗАЦИЯ ПУЛЬСАЦИИ МОМЕНТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНОЙ МАШИНОЙ

Гамбург К.С., Уварова И.В., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

kgsam@mail.ru

***Аннотация.** В статье рассматривается метод минимизации момента в вентильной машине.*

Ключевые слова: синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов; вентильная машина; минимизация момента.

MINIMIZING TORQUE PUBLATION WHEN OPTIMIZING THE VALVE CONTROL SYSTEM

Gamburg K.S., Uvarova I.V., Lazareva T.I., Kovtun N.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article discusses a method for minimizing torque in a valve machine.*

Keywords: synchronous motor with permanent magnet excitation; valve machine; torque minimization.

В прецизионных применениях синхронных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов [1] исключительно важно минимизировать пульсации его момента, вносящие основные возмущения в реализацию движения в широком диапазоне скоростей. На низких скоростях главное возмущение для системы управления – пульсации момента, вызванные нелинейными эффектами как в машине (моменты фиксации и высших гармоник потокосцеплений фаз), так и в силовой электронике (следствие нелинейности характеристик инвертора). На высоких скоростях пульсации момента могут вызываться насыщением регуляторов при игнорировании в алгоритмах управления ограничения по напряжению питания.

В статье рассматривается метод уменьшения пульсаций момента на низкой скорости,

основанный на адаптивной калибровке с помощью наблюдателя потока и/или момента [2].

В синхронном двигателе с возбуждением от постоянных магнитов нет электрической и индуктивной связи между фазами, поэтому возможно их независимое раздельное питание с добавлением гармоник в токи. В результате пульсации момента, вызванные нелинейными эффектами, могут быть уменьшены до 0,1 от номинального значения.

На высоких скоростях нелинейные возмущения момента фильтруются инерционностью привода и не вызывают существенных пульсаций скорости. Поэтому калиброванное питание на высоких скоростях не используется.

Калиброванное токовое питание в вентильном приводе позволяет устранить пульсации момента и линеаризовать описание привода без учета динамики электрических переходных процессов. Для линеаризованного описания привода, на основе стандартных методов можно синтезировать цифровые регулятор и наблюдатель. Однако, такое описание действительно только для малых скоростей, т.к. не учитывает электромагнитной инерционности, т.е. предполагает напряжение питания неограниченно большим. Известно, что требуемое напряжение питания растет из-за роста ЭДС движения и самоиндукции, т.е. по мере увеличения ω и/или амплитуды токов $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$ (т.е. момента). Поэтому по мере роста скорости и/или нагрузки (т.е. амплитуды токов) требуемое по напряжению питания двигателя может достичь максимума, обеспечиваемого инвертором. Эффект этого насыщения должен быть учтен в алгоритмах управления приводом.

Ограничения по напряжению и по току могут быть сформулированы как ограничения по амплитуде напряжения и амплитуде тока

$$u_{mmax} = \sqrt{u_d^2 + u_q^2} \quad (1)$$

$$i_m = \sqrt{i_d^2 + i_q^2} \quad (2)$$

Следовательно, для фазных напряжений, ограниченных максимальным значением u_{mmax} и для фазных токов, ограниченных максимальным значением i_m , ограничения в осях dq представляется как:

$$\begin{cases} \sqrt{u_d^2 + u_q^2} \leq u_{mmax} \\ \sqrt{i_d^2 + i_q^2} \leq i_m \end{cases} \quad (3)$$

Ограничения (3) могут действовать как раздельно, так и совместно. Обычно управление двигателем характеризуется тремя диапазонами скоростей:

- диапазон низких скоростей, где действует только ограничение по току (ОТ);

- диапазон средних скоростей, где действует ограничение по току и по напряжению (ОТОН);

- диапазон высоких скоростей, где действует только ограничение по напряжению (ОН).

Для определенной скорости максимум момента всегда достигается выбором пары токов i_d и i_q или напряжений u_d и u_q . Оптимальные величины можно обозначить как i_d^* , i_q^* , u_d^* , u_q^* и использовать как задания в зависимости от скорости и момента двигателя для устранения влияния возможного насыщения инвертора.

Максимальный момент при ограничении по току. В неявнополюсном синхронном двигателе с возбуждением от постоянных магнитов, при ограничении по току, оптимум i_d^* должен быть равен нулю для достижения максимального момента $\bar{m} = \bar{i}_q$. Общее решение для положительного и отрицательного заданий момента $m^* = i_q^*$ очевидно:

$$\begin{cases} i_d^* = 0; \\ i_q^* = \pm i_m^*; \\ u_d^* = -\omega \cdot T_s \cdot i_q^*; \\ u_q^* = i_q^* + \Phi_0 \cdot \omega \end{cases} \quad (4)$$

Максимальный момент при ограничении по напряжению. Управление, создающее максимум момента при ограничении по напряжению, хорошо известно как режим предельной нагрузки, или как управление в режиме оптимального ослабления потока. Для получения оптимальных значений заданий напряжений u_d^* и u_q^* в этом режиме, определяем i_d и i_q :

$$\begin{vmatrix} i_d \\ i_q \end{vmatrix} = \frac{1}{z^2} \cdot \begin{vmatrix} u_d + \omega \cdot T_s \cdot (u_q - \omega \cdot \Phi_0) \\ -\omega \cdot T_s \cdot u_d + (u_d - \omega \cdot \Phi_0) \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где z - относительное комплексное сопротивление:

$$z = \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T_s^2}. \quad (6)$$

Вектор напряжения определяется амплитудой u_m и фазой (или углом коммутации напряжений) ψ_u :

$$\begin{aligned} u_d &= u_m \cdot \cos \psi_u; \\ u_q &= u_m \cdot \sin \psi_u, \end{aligned} \quad (7)$$

откуда ток i_q :

$$i_q = \frac{-\omega \cdot T_s \cdot u_m \cdot \cos \psi_u + (u_m \cdot \sin \psi_u - \omega \cdot \Phi_0)}{z^2} \quad (8)$$

Из (8) видно, что максимальный ток i_q , или максимальный электромагнитный момент синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов получают при

$$\begin{aligned} u_m &= u_{m_{max}}; \\ \frac{d}{d\psi_u} (-\omega \cdot T_s \cdot \cos \psi_u + \sin \psi_u) &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, оптимальные величины u_d^* и u_q^* должны удовлетворять условию:

$$\frac{u_q^*}{u_d^*} = -\frac{1}{\omega \cdot T_s} \quad (10)$$

Это выражение дает значение оптимального угла коммутации ψ_u^* для вентильного привода, управляемого по напряжению:

$$\begin{aligned} \psi_u^* &= \pm \left(\frac{\pi}{2} + \arctg \omega \cdot T_s \right) = \pm \left(\frac{\pi}{2} + \Delta\psi_u^* \right); \\ \Delta\psi_u^* &= \arctg \omega \cdot T_s, \end{aligned} \quad (11)$$

где $\Delta\psi_u^*$ - угол сдвига коммутации по напряжению.

Для заданного момента $m^* > 0$ и текущей скорости $\omega > 0$ угол коммутации:

$$\psi_u^* = \frac{\pi}{2} + \arctg \omega \cdot T_s \quad (12)$$

Используя (3-12), получаем оптимальные задания токов при управлении с ограничением по напряжению:

$$\begin{cases} i_d^* = -T_s \cdot \Phi_0 \cdot \frac{\omega^2}{z^2}; \\ i_q^* = \frac{u_{mmax}}{z \cdot \frac{\omega \cdot \Phi_0}{z^2}}. \end{cases} \quad (13)$$

Максимальный момент при ограничении по току и напряжению. Из уравнений (13) для зоны ограничения тока, или для диапазона малых скоростей, видно, что здесь токи i_d^* и i_q^* не зависят друг от друга: ток i_d^* равен нулю, а ток i_q^* пропорционален заданному моменту.

По мере увеличения скорости и заданной амплитуды тока i_m^* , растет требуемая амплитуда выходного напряжения инвертора u_m . На скорости ω_{cv} перехода от ограничения по току к ограничению по току и напряжению амплитуда u_m достигает значения u_{mmax} .

$$\left(i_d^* + \frac{\omega^2 \cdot T_s \cdot \Phi_0}{z^2} \right)^2 + \left(i_q^* + \frac{1}{z^2} \cdot \omega \cdot \Phi_0 \right)^2 = \frac{u_{mmax}^2}{z^2} \quad (14)$$

Уравнение (14) – уравнение так называемого круга ограничения по напряжению на плоскости $i_q^*(i_d^*)$, уменьшающегося в диаметре по мере роста скорости. Координаты центра круга ограничения по напряжению:

$$i_d^* = -\frac{\Phi_0}{T_s}, i_q^* = 0 \quad (15)$$

При $\omega = 0$, круг ограничения по напряжению имеет максимальный радиус, равный току короткого замыкания: $i_m m_{maxmax}$.

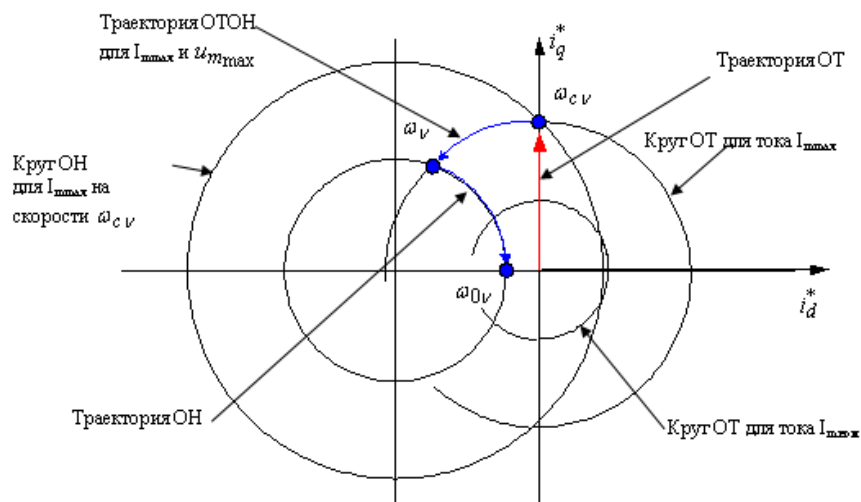


Рис. 1 – Круги ограничения по напряжению и току

На рис. 1 приведены круги ограничения по напряжению и круги ограничения по току при различных скоростях и различных значениях амплитуды тока – номинальном и кратковременном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синхронные двигатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://vecgroup.com/> (дата обращения 05.12.2023 г.).
2. Калачев Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [kalachev_yu_n_nablyudateli_sostoyaniya_v_vektornom_elektropr.pdf](#) (дата обращения 05.12.2023 г.).

РАСЧЕТ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ В СУ СД С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Гамбург К.С., Уварова И.В., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. В статье рассматривается расчёт регулятора скорости в системе управления синхронного двигателя с возбуждением постоянными магнитами в малоомощном приводе каретки бесцентрово-токарного станка WDHC 80/60/140 фирмы «Schumag – Kieserling».

Ключевые слова: синхронный двигатель; вентильная машина; регулятор скорости.

CALCULATION OF THE SPEED CONTROLLER IN SMDS WITH EXCITATION BY PERMANENT MAGNETS

Gamburg K.S., Uvarova I.V., Lazareva T.I., Kovtun N.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article discusses the calculation of the speed controller in the control system of a synchronous motor with permanent magnet excitation in a low-power carriage drive of a centerless lathe WDHC 80/60/140 from «Schumag – Kieserling».

Keywords: synchronous motor; valve machine; speed controller.

Как известно, наиболее просто идентифицируемой системой координат синхронной машины является система координат dq, в которой ось d совпадает с магнитной осью обмотки возбуждения ротора.

Дифференциальные уравнения токов синхронной машины с возбуждением постоянными магнитами по этим осям выглядят следующим образом:

$$\frac{dI_{sd}}{dt} = -\frac{1}{T_{id}} \cdot I_{sd} + \frac{1}{\sigma} \cdot p \cdot \omega \cdot I_{sq} + \frac{1}{T_{id}} \cdot U_{sd} \quad (1)$$

$$\frac{dI_{sq}}{dt} = -\frac{1}{T_{iq}} \cdot I_{sq} - p \cdot \omega \cdot I_{sd} + \frac{1}{T_{id}} \cdot U_{sq} \quad (2)$$

Для составляющей I_{sd} перекрестная связь является существенной, так как ЭДС от нее определяется полной индуктивностью статора – $\rho\omega L_s I_{sq}$, поэтому в контуре необходимо применять прямую компенсацию этой ЭДС с возможным использованием контура с эталонной моделью. При использовании этих средств можно считать, что динамика переменной I_{sd} описывается линейным уравнением с постоянными коэффициентами, и при соответствующем преобразовании примет вид:

$$\frac{dI_{sq}}{dt} = -\frac{1}{T_{iq}} \cdot I_{sq} + \frac{1}{T_{id}} \cdot U_{sq} \quad (3)$$

Так как у ротора двигателя механизма передвижения каретки бесцентрово-токарного станка WDHC 80/60/140 фирмы «Schumag – Kieserling» [1] нет обмотки возбуждения (постоянные магниты) [2], то

$$T_{id} = T_{iq} = T_s \quad (4)$$

где T_s – постоянная времени статора в о.е. (расчет не приводится).

Для синтеза регулятора используем векторное представление системы в виде:

$$\frac{dX}{dt} = A \cdot X^T + B \cdot U^T + F, \quad (5)$$

где $X^T = \| I_{sd}, I_{sq} \|$ – матрица токов; $U^T = \| U_{sd}, U_{sq} \|$ – матрица напряжений; A и B – матрицы коэффициентов; F – суммарное вязкое трение ротора и нагрузки.

Матрицы B и P неособенные, поэтому матрица регуляторов $Z(s)$ может быть определена из уравнения для наперед заданной матрицы желаемых передаточных функций системы. Так как система является управляемой, принимаем независимое управление каждой из переменных и настройку на технический оптимум. Модельная матрица системы в этом случае будет иметь вид:

$$M(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{k_{oc} \cdot (2 \cdot T \mu^2 \cdot s^2 + 2 \cdot T \mu \cdot s + 1)} & 0 \\ 0 & \frac{1}{k_{oc} \cdot (2 \cdot T \mu^2 \cdot s^2 + 2 \cdot T \mu \cdot s + 1)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

где k_{oc} – коэффициент обратной связи по скорости, равный 3 (т.к. число пар полюсов $2p$ равно 6); T_μ – постоянная времени тиристорного преобразователя, равная $5 \cdot 10^{-3}$ с.

Матрица регулятора $Z(s)$ получается из матричного равенства:

$$Z(s) = P^{-1}(s) \cdot B^{-1}(s) \cdot [s \cdot E - A(Ts)] \cdot M(s) \cdot [E - k_{o.c.}(s) \cdot M(s)]^{-1}, \quad (11)$$

где E – единичная матрица 2×2 ; $k_{o.c.}$ – матрица вида:

$$K_{o.c.} = \begin{pmatrix} k_{oc} & 0 \\ 0 & k_{oc} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Тогда в явном виде матрица $Z(s)$:

$$Z(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{(2 \cdot k_{т.п.})} \cdot TS \cdot \frac{(s + \frac{1}{TS})}{(k_{oc} \cdot s \cdot T\mu)} & 0 \\ 0 & \frac{1}{(2 \cdot k_{т.п.})} \cdot TS \cdot \frac{(s + \frac{1}{TS})}{(k_{oc} \cdot s \cdot T\mu)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Таким образом получили матрицу ПИ-регуляторов в каждом канале. Подставив числовые значения коэффициентов K_1 , равного 3,19 и K_0 , равного 33,3 в передаточную функцию ПИ- регулятора:

$$W_{ПИ}(s) = \frac{K_1 + K_0}{s}, \quad (14)$$

получим

$$W_{РЕГ}(s) = \frac{3,19 \cdot s + 33,3_0}{s}$$

Подставим эти коэффициенты в модель синхронной машины с постоянными магнитами (рис. 1) [3] и проанализируем графики линейных токов, скорости и электромагнитного момента (рис. 2.)

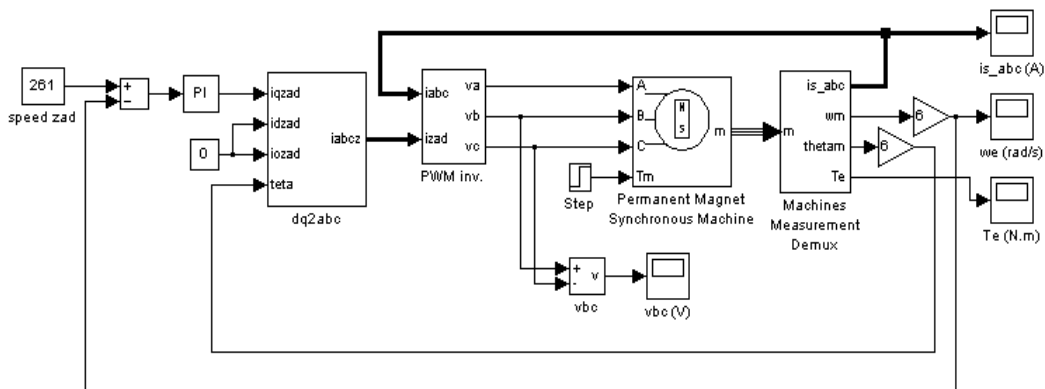
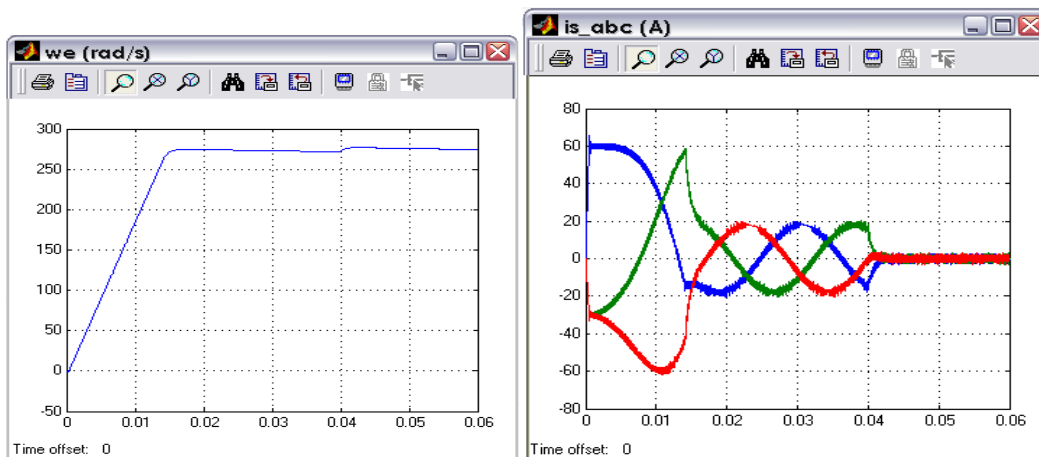
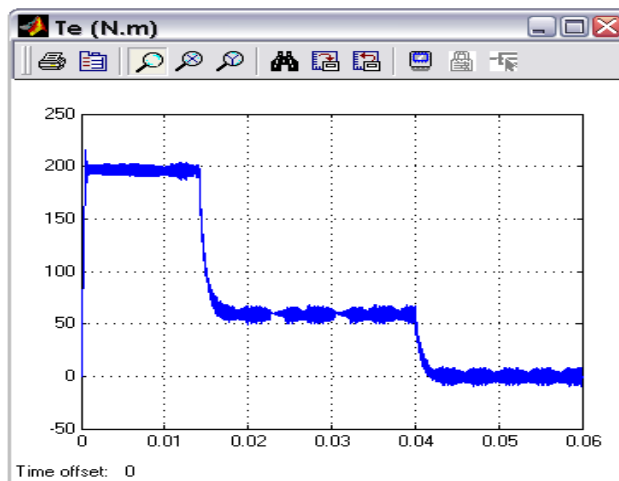


Рис. 1 – Динамическая модель трехфазной синхронной машины с постоянными магнитами с синусоидальным потоком



а) б)



в)

Рис. 2 – Графики линейных токов (а), скорости ротора (б) и электромагнитного момента (в)

При пуске токи сначала высокие, но не превышают пускового тока двигателя (82 А), и быстро устанавливаются на номинальном значении. Когда прикладывается скачок нагрузки, токи устанавливаются на новое, меньшее значение, соответствующее уменьшенному моменту статического сопротивления.

Скорость также быстро устанавливается при пуске, при этом имеется малая просадка скорости в момент приложения нагрузки.

Момент достаточно быстро и плавно устанавливается на значении 60 Н·м (номинальном). Когда прикладывается скачок нагрузки, момент также плавно устанавливается на новом значении (1 Н·м).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесцентрово-токарный станок WDHC80/60/140 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://stankinn.ru/bar-peeling-machine> (дата обращения 05.12.2023 г.).
2. Синхронные двигатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://vecgroup.com/> (дата обращения 05.12.2023 г.).
3. Моделирование вентильного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/48245> (дата обращения 05.12.2023 г.).

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРИВОД ПО СИСТЕМЕ ПЧ-СД С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕНТИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Гамбург К.С., Уварова И.В., Лазарева Т.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. В статье рассматривается вопрос использования легкого синхронного двигателя с возбуждением постоянными магнитами в маломощном приводе каретки бесцентрово-токарного станка WDHC 80/60/140 фирмы «Schumag – Kieserling». В качестве двигателя рассматривается вентильная машина.

Ключевые слова: синхронный двигатель; вентильная машина; система координат; модель.

AUTOMATED DRIVE BY IF-SD SYSTEM USING VALVE MACHINE

Gamburg K.S., Uvarova I.V., Lazareva T.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article discusses the issue of using a lightweight synchronous motor with permanent magnet excitation in a low-power carriage drive of a centerless lathe WDHC 80/60/140 from «Schumag – Kieserling». A valve machine is considered as a motor.

Keywords: synchronous motor; valve machine; coordinate system; model.

Современный металлорежущий станок оснащен сложной системой автоматического управления и несколькими автоматизированными приводами, позволяющими отказаться от громоздких механических трансмиссий и выполнять их функции в широком диапазоне скоростей и моментов при обеспечении высокого качества регулирования. Это возлагает на системы управления дополнительные задачи. Система управления станком обеспечивает настройку режима работы станка по минимальному набору исходных технологических параметров и непосредственное управление механизмами в процессе обработки. Комплекс датчиков и обратные связи по технологическим параметрам обеспечивают строгую синхронизацию работы механизмов и позволяют точно отъюстировать обрабатываемый узел

на заданное значение при использовании бесконтактных измерений в технологическом потоке.

Бесцентрово-токарный станок WDHC 80/60/140 фирмы «Schumag – Kieserling» [1] служит для обработки резанием прутков круглой стали диаметром 12 – 75 мм. Он обеспечивает экономичное производство прутков высокого качества с гладкой поверхностью. Резание осуществляется несколькими твердосплавными резцами на большую глубину при очень высоких скоростях подачи. Применение режущего инструмента в различных исполнениях и обладающего оптимальными качествами резания позволяет наладить высокую производительность.

Задание на скорость для всех приводов рассчитывается программой, заложенной в системе визуализации, и программируемым логическим контроллером в зависимости от технологических параметров. Указанные параметры вводятся оператором станка в программу.

Рассчитанные задания преобразуются программируемым контроллером в унифицированные аналоговые сигналы напряжения и поступают в автоматизированные приводы.

Привод каретки обслуживается частотным преобразователем, в состав которого входит микропроцессорный модуль (VS), реализующий алгоритмы цифрового регулирования и управления силовой частью привода. Он также осуществляет различные виды защит, блокировок и передает в ПК необходимую информацию о состоянии привода.

Поскольку привод каретки маломощный, это позволяет использовать легкий синхронный двигатель с возбуждением постоянными магнитами. Таким образом, реализован привод по системе ПЧ – СД.

Трехфазные синхронные двигатели серии 1FT6 с возбуждением постоянными магнитами входят в состав комплектного автоматизированного электропривода SIMODRIVE

Электрическая и механическая части машины представлены моделью второго порядка в пространстве состояний (рис.1.).

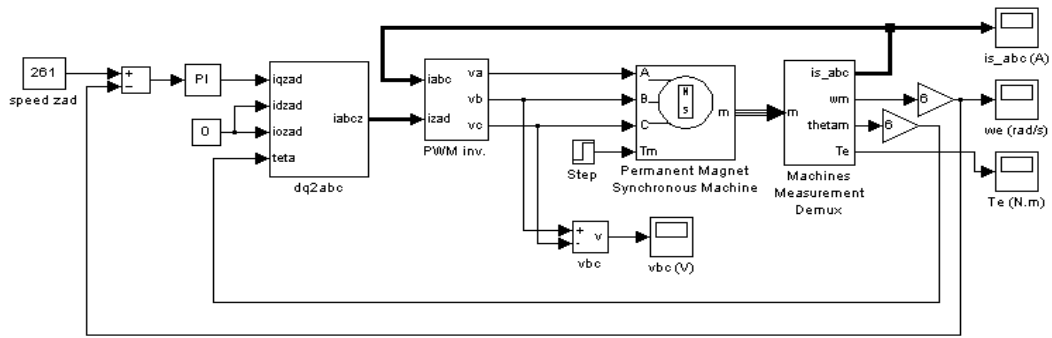


Рис. 1 – Динамическая модель трехфазной синхронной машины с постоянными магнитами с синусоидальным потоком

Существенное отличие модели заключается в том, что рассматривается вентильный двигатель, в котором коммутация зависит от угла положения ротора, а на СИФУ поступает сигнал от датчика положения ротора.

Из всех типов синхронных машин в управляемых системах наиболее перспективными считаются вентильные машины.

При анализе вентильной машины обычно используется вращающаяся со скоростью ротора система координат. Ось магнитного поля ротора в синхронной машине принято обозначать буквой d , а перпендикулярную ось - буквой q .

Связь между вращающейся (d, q) и неподвижной (α, β) системами координат аналогична связи для асинхронных машин. Модель вентильной машины в общем виде см. рис.2 [2].

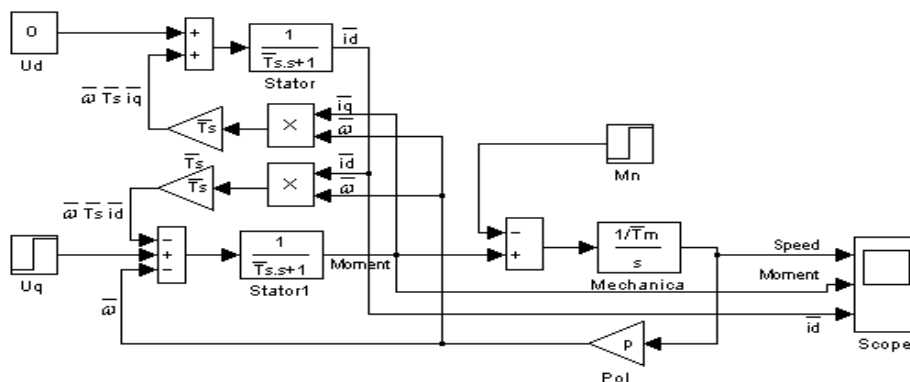


Рис. 2 – Модель ВМ во вращающейся системе координат в общем виде

Произведя соответствующие расчёты и преобразования, получаем модель вентильной машины во вращающейся системе координат (см.рис.3) и результаты моделирования (см.рис.4).

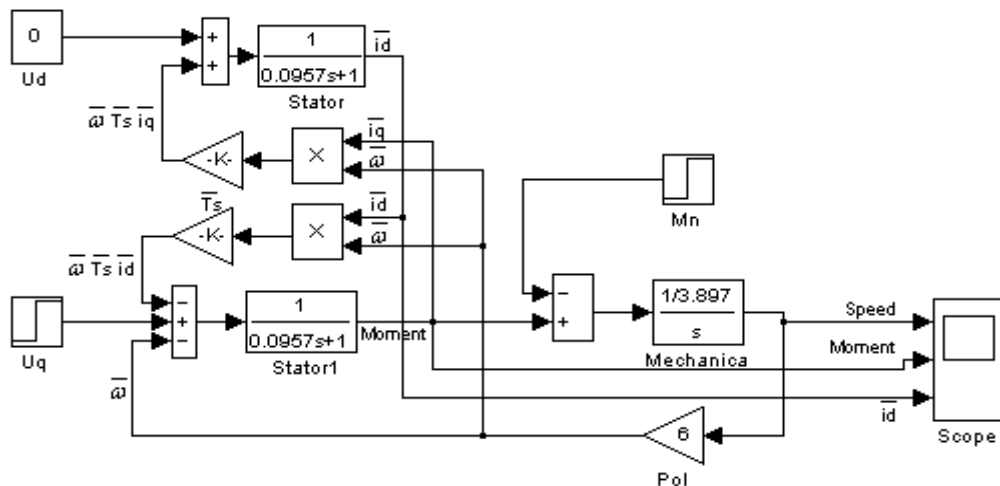


Рис. 3 – Модель ВМ во вращающейся системе координат с расчётными данными

В реверсивных электроприводах обычно сигнал задается только по оси q .

Ток \bar{i}_d является током по продольной оси, он не создает момента, но в достаточной степени влияет на поток и, соответственно, на скорость и на общий ток потребления машины. Причиной появления этого тока является постоянная времени \bar{T}_s в цепи статора машины и взаимные перекрестные связи между каналами.

Результаты моделирования представлены на рис. 4, где верхняя кривая – скорость вращения ротора, средняя кривая - момент и нижняя кривая - ток по оси d .

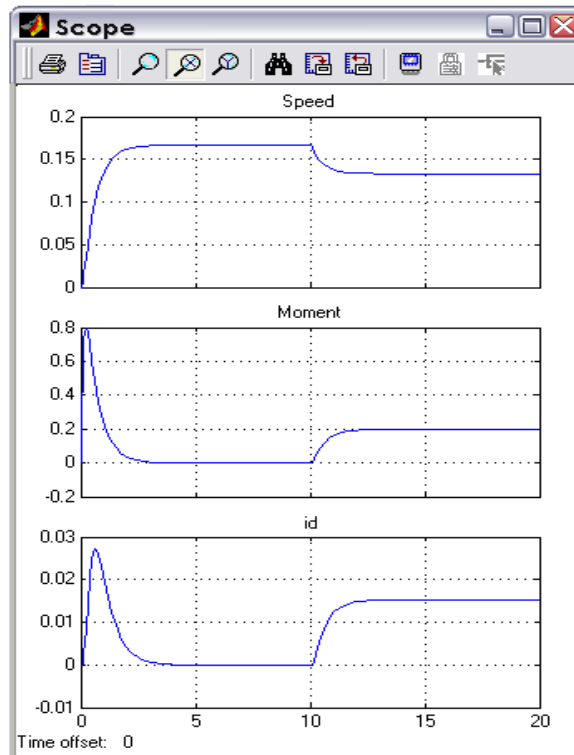


Рис. 4 – Результаты моделирования

Вопрос о влиянии тока \bar{i}_d на поток рассматривается в другой статье применительно к реальным системам, где учитываются не только параметры ВМ, но и параметры канала с датчиком положения ротора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесцентрово-токарный станок WDHC80/60/140 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://stankinn.ru/bar-peeling-machine> (дата обращения 05.12.2023 г.).
2. Моделирование вентильного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/48245> (дата обращения 05.12.2023 г.).

**О ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ ЗАГОТОВКИ
В ПЕЧАХ НАГРЕВА СПЦ-1 АО «ОЭМК ИМ. А. А. УГАРОВА»**

Гмыря Э.Э., Фомин А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
gmyrya01@inbox.ru, verner444@yandex.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию в области прогнозирования времени выхода литой заготовки из нагревательной печи с целью дальнейшей оптимизации температурных уставок.*

Ключевые слова: Время нагрева заготовок; нагрев заготовок перед прокаткой; слежение за заготовками; прогнозирование.

**MODERNIZATION OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE FURNACE
FOR HEATING CAST BLANKS SPC-1 AO «OEMK NAMED AFTER A. A. UGAROV»**

Gmyrya E.E., Fomin A.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article is devoted to research in the field of predicting the exit time of a cast billet from a heating furnace in order to prevent exceeding the permissible temperature limits for various types of steel.*

Keywords: Workpiece heating time; heating of workpieces before rolling; tracking of workpieces; forecasting.

В металлургическом производстве более 20% потребляемого топлива расходуется на нагрев металла перед прокаткой. Эффективная работа нагревательных печей для нагрева металла во многом определяет качество продукции и себестоимость проката.

За последнее десятилетие наметился существенный разрыв в энергоёмкости производства проката в России по сравнению с другими странами [1]. В первую очередь это вызвано значительным удорожанием энергоносителей и ужесточением требований по защите окружающей среды от загрязнения. Существующие режимы нагрева металла, с широкими

диапазонами температурных уставок, выбор которых, в рамках диапазона, осуществляет оператор исходя из опыта, оказываются неоптимальными в современных условиях развития средств математического моделирования.

Существенное снижение затрат тепловой энергии может быть за счёт проведения следующих мероприятий:

- 1) Переходом на нагрев не остывших от предыдущего передела горячих или теплых заготовок [1, 3];
- 2) Снижением требуемых температур нагрева для прокатки [1];
- 3) Проведением теплотехнических мероприятий, направленных на уменьшение потерь тепла через конструкции печи и с отходящими газами [4];
- 4) Применением современных микропроцессорных систем оптимального управления тепловым режимом [12].

Реализация части мероприятий требует существенного пересмотра технологических инструкций, а также проведения значительной реконструкции существующих печей. Использование микропроцессорных технических средств позволяет эффективно, с минимальными затратами и оперативно решить задачу реализации энергосберегающих режимов управления подачей топлива при нагреве металла, повысить эффективность его использования, улучшить качество нагрева заготовок за счет централизованного контроля параметров нагревательной печи.

Описание объекта

Печь в СПЦ-1 служит для нагрева заготовок с последующей обработкой давлением. Требуемое для горения тепло производится с помощью газовых горелок, в которых сжигают смесь природного газа и воздуха. Рабочее пространство снизу ограничено подом, на котором располагаются нагреваемые заготовки, с боков – стенками печи, на которые опирается свод, замыкающий верхнюю часть рабочего пространства. В стенках печи имеются окна для загрузки холодных и выгрузки нагретых заготовок

Схема загрузки заготовок в печь нагрева приведена на рисунке 1.

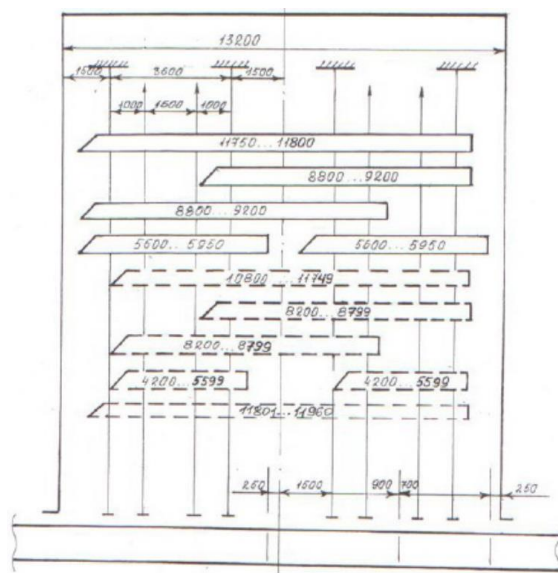


Рис. 3 – Схема загрузки печи нагрева

Заготовки с ясно видимым клеймом к нагревательным печам подаются заклеянным концом вперед. Посад заготовок в печи производят операторы постов управления ПУ-5 и ПУ-7 в автоматическом или ручном режиме. Перед печью заготовки позиционируются на упоре автоматически, короткие, с длиной менее 5 м, позиционируются в ручном режиме оператором, а затем с помощью устройства загрузки укладываются в печь на одну из позиций загрузки. В печи с помощью электромеханической системы подъемно-шагающего пода материал перемещается до позиции выгрузки. Оттуда материал с помощью устройства выгрузки вынимается из печи и подается на прокатный стан. Позиция загрузки зависит от выбранной длины шага пода. Позиция выгрузки не изменяется.

После нагрева заготовка сечением 300x360 мм, массой 5 – 10 тонн нагретая до 1100 °С в зависимости от марки металла, подается отводящим рольгангом к установке гидросбива для удаления с поверхности окалины водой высокого давления 50 кгс/см². Выдача нагретого металла из печей, и подача его на стан производится в режиме производительности стана, которая сильно различается от катаемого профиля (размера). Крупные профили катаются в среднем 1 заготовка в минуту, а более мелкие 1 раз в 2–3 минуты.

Описание существующей АСУ ТП

Проводимые исследования, позволяют, потенциально, создать систему, что на основе матмодели позволит прогнозировать, какая будет температура у заготовки на выходе из печи. Это необходимо для того, чтобы не выйти из диапазона допускаемых параметров, а именно времени и температуры для каждой марки стали выпускаемой в СПЦ-1.

Основная проблема данного решения в том, что параметры актуальны только для последней заготовки, которую выдадут на прокатный стан, так как для нее известна история

нагрева, а именно при какой температуре и сколько времени происходил нагрев. Однако, для оптимизации нагрева коррекцию уставок необходимо проводить до выхода металла на стан. В связи с этим, имеется необходимость в системе прогнозирования времени нахождения заготовок в зонах печи, данные которой будут основой для работы системы прогнозирования температуры.

Для решения поставленной задачи необходимо учитывать темп прокатки, который для каждого профиля известен статистически, а также время перевалки с одного профиля на другой.

Вывод

Решение поставленной задачи позволит предиктивно управлять нагревом металла в печи, что в свою очередь увеличит качество выпускаемой в СПЦ-1 продукции за счет заранее известного времени выхода заготовки и уменьшит расход природных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спивак Э. И., Аносов В. И., Гусовский В. Л. и др. Расход топлива перед прокаткой на широкополосных станах. НТИ. Черная металлургия. -1993. вып. 6. -С.3-12.
2. Бигеев А. М. Металлургия стали. Учебник для ВУЗов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Металлургия, 1988 г.
3. Лисиенко В. Г., Волков В. В., Маликов Ю. К. Улучшение топливо использования и управление теплообменом в металлургических печах. М.: Металлургия, 1988. -231 е., ил.
4. Брод Х., Риман Г., Фогт Х. и др. Оптимизация печей повторного нагрева широкополосного стана горячей прокатки. Пер. с нем. Черные металлы. -1992. -№8. -С.6-13.
5. Теория автоматического управления / Под ред. Нетушила А. В. Учебник для ВУЗов. Изд. 2-е, доп. И перераб. М.: Высшая школа, 1976 г.
6. Ключев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие М.: Энергия, 1980г.
7. Мясников В. А., Вальков В. М., Омельченко И. С. Автоматизированные и автоматические системы управления технологическими процессами. М.: Машиностроение, 1978 г.
8. Ястребенецкий М. А., Иванова Г. М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами. - М.: Энергоатомиздат, 1989-264с.
9. Коновалов Л. И., Петелин Д.П. Элементы и системы автоматики. М.: Высшая школа, 1985 г.
10. Жуков П. И., Глущенко А. И., Фомин А. В. Сравнение модели конечных разностей и машинного обучения для задачи прогнозирования температуры заготовки,

нагреваемой в проходной печи // Управление большими системами. Выпуск 95. М.: ИПУ РАН, 2022. С.79-100.

11. Жуков П. И., Фомин А. В. и Глущенко А. И. Модель прогнозирования температуры литой заготовки на основе ретроспективы ее нагрева с использованием структуры «случайного леса», Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии, вып. 4, нет. 18, стр. 11–27, 2020.

12. Райницхубер Ф., Якоб Г., Хиршман Г. и др. Управление нагревательными печами при помощи микропроцессоров на примере проволочного и мелкосортного станов. Пер. с нем. Черные металлы. -1986. -№4 -С.3-9.

13. Буглак Л. И., Вольфман И. Б., Ефрой-мович С. Ю. и др. Автоматизация методических печей. М.: Metallurgiya, 1981. - 196 е., ил.

14. Андреев С. М., Прозоров В. В. Оптимизация управления нагревом металла. Информационные и кибернетические системы управления и их элементы: Тезисы доклада. Всероссийская молодежная научно-техническая конференция. -Уфа, 1997. -С.247.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ЛИНЕЙНОЙ
РЕГРЕССИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ЗНАЧЕНИЙ ВРЕМЕННОГО РЯДА**

Докукин В.М., Цыганков Ю.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
tsy-18@yandex.ru*

Аннотация. В работе выполняется сравнительный анализ особенностей методов линейной регрессии при построении статистической модели с целью решения задачи прогнозирования значений временного ряда на основе датасета открытого доступа.

Ключевые слова: временной ряд; статистическая модель; машинное обучение.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF LINEAR REGRESSION
METHODS FOR SOLVING THE PROBLEM OF FORECASTING TIME SERIES
VALUES**

Dokukin V.M., Tsygankov Y.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The paper provides a comparative analysis of the features of linear regression methods when building a statistical model to solve the problem of predicting the values of a time series on the basis of an open access dataset.

Keywords: time series; statistical model; machine learning.

Задача прогнозирования значений временных рядов является одной из наиболее распространенных в области практического применения машинного обучения. К временным рядам относятся какие-либо показатели, значения которых измеряются с различной частотой и изменяются в течение различных временных отрезков. Как правило, значение данного показателя зависит от значений других величин, связанных с процессом или явлением. И прогнозирование будущих значений является классической регрессионной задачей, которую возможно решить множеством способов – от давно известных статистических регрессионных

моделей до популярных нейросетевых методов [1,2]. Сравнению эффективности методов линейной регрессии и методике выбора метрик качества и посвящено данное исследование.

С целью построения моделей был рассмотрен датасет свободного доступа The Accountant [3]. Набор данных представляет собой обучающий набор данных train - 230089 образцов, и тестовый набор test - 25549 образцов, в которых представлены такие признаки как: «Date» - дата записи, «store» - порядковый номер магазина, «product» - порядковый номер товара или класс, «number_sold» - число продаж конкретного товара в конкретном магазине. На рисунке 1 представлен пример данных из датасета.

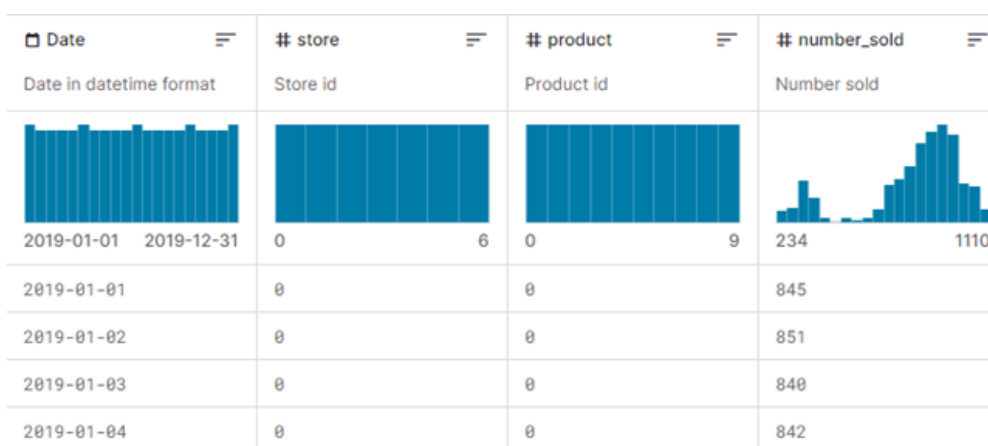


Рис. 1 – Пример данных из датасета.

Итоговой задачей является построение модели, способной максимально достоверно предсказать число продаж каждого товара в каждом из магазинов - данные столбца «number_sold» датасета test, в различные даты, опираясь на выборку из датасета train.

В работе выполнена разработка статистических моделей и сравнительный анализ следующих методов: простая линейная регрессия, линейная регрессия по нескольким параметрам, регрессии Ridge и Lasso. Эксперименты осуществлялись с использованием классов и функций модуля sklearn языка Python версии 3.11.5.

Задача линейной регрессии, по своей сути, является задачей наименьших квадратов, то есть задачей минимизации следующей целевой функции (1):

$$Q(\alpha, X^l) = \sum_{i=1}^n (f(x_i, \alpha) - y_i)^2 = \|F\alpha - y\|^2 \rightarrow \min_{\alpha} \quad (1)$$

где α - искомый вектор; F - матрица объектов-признаков, где строки соответствуют объектам, а столбцы - признакам; y - вектор ответов.

Алгоритмы Ridge и Lasso дополнительно накладывают ограничение на коэффициенты вектора α в целях улучшения точности прогнозов, особенно при наличии мультиколлинеарности - зависимости одного признака от другого.

Целевая функция в алгоритме Ridge с учётом ограничений, накладываемых на коэффициенты вектора решений, принимает вид (2):

$$Q_{\lambda}(\alpha) = \|F\alpha - y\|^2 + \lambda\|\alpha\|^2 \quad (2)$$

где λ - неотрицательный параметр.

Целевая функция в алгоритме Lasso принимает вид (3):

$$Q_{\lambda}(\alpha) = \|F\alpha - y\|^2 + \lambda\|\alpha\| \quad (3)$$

где λ - неотрицательный параметр.

Основное отличие алгоритмов заключается в том, что алгоритм Ridge очень редко обнуляет коэффициенты вектора решений α , тогда как алгоритм Lasso зачастую обнуляет один или несколько наименее значимых коэффициентов.

Для оценки эффективности моделей были использованы следующие критерии качества:

1. MSE (mean squared error) – средняя квадратичная ошибка. Низкие значения MSE свидетельствуют об отсутствии грубых ошибок в предсказаниях в среднем, высокие - о систематическом наличии грубых ошибок. Данное значение позволяет судить о том, подходит ли модель для решения задачи.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a(x_i) - y_i)^2 \quad (4)$$

2. MAE (mean absolute error) - средняя абсолютная ошибка. Низкие значения MAE свидетельствуют об отсутствии серьёзных ошибок в пределах порядка ответов, высокие значения - о наличии множества ответов, на котором алгоритм работает плохо. Данное значение не позволяет судить о том, насколько данная модель адекватна задаче.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |a(x_i) - y_i| \quad (5)$$

3. MAPE (mean absolute percentage error) - средняя абсолютная процентная ошибка. MAPE позволяет сделать вывод о среднем отклонении от истинных значений в процентах. Данный коэффициент просто интерпретируется и позволяет судить о модели независимо от числовых значений ответов и предсказаний.

$$MAPE = 100\% \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - a(x_i)|}{|y_i|} \quad (6)$$

Первым из озвученных ранее на представленном датасете была построена модель простой линейной регрессии с одним параметром. Поскольку метод простой линейной регрессии предполагает построение зависимости результата от одной переменной, целесообразно определить параметр, наилучшим образом коррелирующий с результатом. Таким параметром оказалась переменная «store», значения показателя «корреляция» для которой представлены на рисунке 2.

```
r_product = 0.033123885576799246
r_date = 0.009667716373289824
r_store = 0.20199379787760519
```

Рис. 2 – Величина корреляции входных переменных с показателем «number_sold».

Значение $r_{store} = 0.202$ свидетельствует о слабой корреляции модели с исходными данными, т.е. о том, что исходная зависимость, скорее всего, не является линейной. Однако, при помощи библиотечной функции были рассчитаны прогнозные значения столбца «number_sold». После чего были вычислены значения принятых показателей оценки качества моделей, представленные на рисунке 3.

```
Linear loss function mean: 9.622230919765167
Quadratic loss function mean: 43456.05612524462
Mean absolute percentage error: -0.11778640988602883
```

Рис. 3 – Величина корреляции входных переменных с показателем «number_sold».

Высокие значения MAE, MSE говорят о ненадёжности использования данного метода для построения прогнозирующей модели на имеющихся данных.

По этой причине было принято решение о попытке построения прогнозирующей модели с использованием метода линейной регрессии по нескольким параметрам.

Для перехода к числовым данным значения из столбца «Date» были преобразованы в количество дней с 1 января 1 года (Proleptic Gregorian ordinal) при помощи функций `to_datetime()` модуля `pandas` и `toordinal()` модуля `datetime`. Стоит отметить, что, поскольку каждая из переменных влияет на результат предсказания модели, коэффициенты множественной линейной регрессии отличаются от коэффициентов простой линейной регрессии.

```
Regression coefficients = [2.07945706e-03 2.06130927e+01 2.35369085e+00]
Linear loss function mean: 5.327606578766931
Quadratic loss function mean: 43492.61156617158
Mean absolute percentage error: -0.12408477113800243
```

Рис. 4 – Набор коэффициентов и численные значения показателей качества при использовании линейной регрессии по нескольким параметрам.

Из представленных на рисунке 4 значений видно, что значение MAE снижается - это говорит об эффективности модели для предсказаний на некотором подмножестве данных из датасета. При этом достаточно высокое значение MSE свидетельствует о том, что функциональная зависимость зависимой переменной от независимых параметров не является линейной. При этом переход от метода линейной регрессии к методу множественной

линейной регрессии все же привёл к уменьшению MAE на 39.6%. Таким образом, использование данного метода приводит, в целом, к более точным результатам прогнозирования, нежели при построении простой линейной регрессионной модели.

В ходе дальнейших экспериментов для проведения сравнительного анализа были построены прогнозирующие модели с использованием Ridge- и Lasso-регрессии. Из представленных выражений (2) и (3) наглядно видно, что помимо решения основной регрессионной задачи, использование данных алгоритмов предполагает определение оптимального значения коэффициента регуляризации λ . Для определения моделей Ridge- и Lasso-регрессии, обладающих наилучшим качеством прогнозирования, был проведён ряд экспериментов, в ходе которых варьировались значения коэффициента регуляризации. Для сравнительного анализа в ходе каждого из экспериментов оценивались значения MAE, MSE и MAPE. Полученные значения лучших экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Численные значения показателей качества при различных значениях коэффициента регуляризации

Алгоритм построения модели	λ	Коэффициенты регрессии (store, date, product)	MAE	MSE	MAPE
Ridge-регрессия	10^4	$2.079457 \cdot 10^{-3}$, $2.039153 \cdot 10^1$, 2.341357	5.824423	43497.877025	12.340205%
Ridge-регрессия	10^5	$2.079456 \cdot 10^{-3}$, $1.859291 \cdot 10^1$, 2.235903	5.827789	43487.347397	12.362533%
Lasso-регрессия	3.2	$2.075903 \cdot 10^{-3}$, $1.981309 \cdot 10^1$, 1.965812	819295	43467.212172	12.345519%
Lasso-регрессия	25.6	$2.051024 \cdot 10^{-3}$, $1.421309 \cdot 10^1$, 0.000000	5.862153	43551.693542	12.410121%

Из таблицы видно, что минимум MSE с использованием Ridge-регрессии для данного датасета достигается при значениях $\lambda = 10^5$. Особый интерес представляет $\lambda = 10^4$, поскольку он позволяет добиться несколько меньшей MAE, чем линейная регрессия по всем параметрам без ограничения на коэффициенты. Для алгоритма Lasso-регрессии видно, что при $\lambda = 3.2$

достигаются минимумы MSE и MAE. Кроме того, уже при $\lambda = 25.6$ происходит обнуление коэффициента признака «product».

Наименьшей средней абсолютной ошибки (MAE) удалось достичь посредством использования алгоритма Lasso-регрессии. При этом наименьшие значения MSE и MAPE, достигаются при использовании алгоритма простой линейной регрессии. В итоге можно сделать вывод, что наиболее желательным методом является алгоритм Lasso-регрессии, поскольку он, относительно метода простой регрессии, компенсирует небольшие уступки в MSE и MAPE гораздо меньшей MAE.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. — Springer, 2006. — 738 р.
2. Учебник по машинному обучению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml> (дата обращения: 15.10.2023г.).
3. Kaggle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.kaggle.com/code/chemaplana/the-accountant-playing-with-za-warudo/notebook> (дата обращения: 15.10.2023г.).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА РЕЗУЛЬТАТОВ ВЗВЕШИВАНИЯ ШАРОПРОКАТНОЙ ПРОДУКЦИИ

Загоруйко С.В., Ковтун Н.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
zagoruiko-1999@mail.ru

Аннотация. *Разработка автоматизированной информационной системы учета взвешивания шаропрокатной продукции повысит эффективность работы крановщика и позволит совершенствовать документооборот на складе.*

Ключевые слова: учет шаропрокатной продукции; нотация IDEF0; модель косвенного измерения массы груза.

MODELING OF THE ACCOUNTING SYSTEM FOR THE RESULTS OF WEIGHING BALL ROLLING PRODUCTS

Zagoruiko S.V., Kovtun N.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *The development of an automated information system for weighing ball rolling products will increase the efficiency of the crane operator and will improve the workflow in the warehouse.*

Keywords: accounting for ball rolling products; IDEF0 notation; model of indirect measurement of cargo weight.

На шаропрокатном стане АО «ОЭМК» имени А. А. Угарова изготавливаются стальные мелющие шары, которые ГОКи используют для измельчения руды в шаровых мельницах. С учетом большого объема производства шаров в составе комплекса работают два шаропрокатных стана, один из которых адаптирован под выпуск шаров диаметром 20 и 40 мм (ШПС 20-60/40), а другой под диаметр 40 и 60 мм (ШПС 20-60/60).

Все подъемно-транспортные работы по разгрузке, складированию и подаче шаров на загрузочные устройства осуществляются существующим мостовым краном №1

грузоподъемностью 10 тонн. Готовые шары хранятся упакованными в мягкие контейнеры (биг-бэги) на свободной площадке. Для грузоподъемных операций по размещению готовой продукции в биг-бегах на площадке, а также для отгрузки окалины из отстойника предусмотрена установка крана-экскаватора грузоподъемностью 5 тонн [1].

Для фиксации данных о продукции на складе на предприятии внедрена система SAP ERP, в то же время для записи и передачи результатов взвешивания модуль не разработан, что замедляет процесс отгрузки шаропрокатной продукции на склад: крановщик вынужден вручную фиксировать на бумажном носителе результат взвешивания с крановых весов; после взвешивания партии ему необходимо обратиться к мастеру шаропрокатного цеха для формирования накладной, в которой отражены результаты взвешивания, а после утверждения ее необходимо доставить в погрузочный цех. При такой системе учета достоверность информации сильно зависит от человеческого фактора.

Разработка единой информационной системы записи и передачи результатов взвешивания шаропрокатной продукции позволит заменить модуль SAP ERP и обеспечить быструю передачу данных на склад с возможностью отслеживания статуса заявки на взвешивание с подтверждением получения на складе.

Рассмотрим процесс учета шаропрокатной продукции в нотации IDEF0 [2].

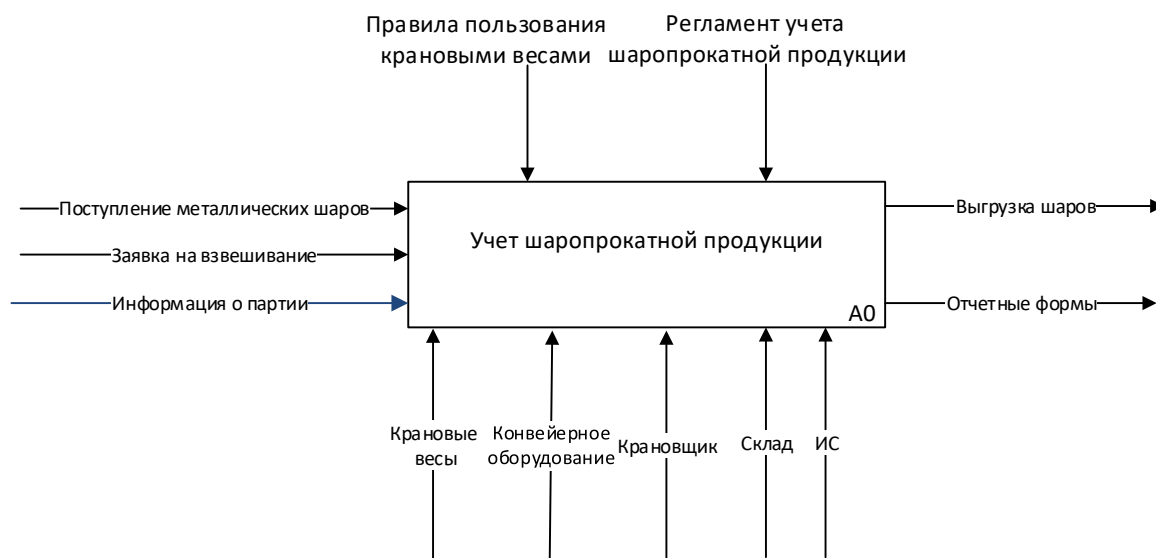


Рис. 1 – Контекстная модель процесса учета шаропрокатной продукции

Входной информацией являются (рис. 1):

- поступление металлических шаров;
- информация о партии;
- заявка на взвешивание.

Выходной информацией являются:

- выгрузка шаров;
- отчетные формы.

Управляющий поток включает:

- правила пользования крановыми весами;
- регламент учета шаропрокатной продукции.

Механизмы:

- крановые весы;
- конвейерное оборудование;
- склад;
- информационная система;
- крановщик.

Декомпозиция модели включает подпроцессы отгрузки шаров к весам, взвешивания, передачи результатов взвешивания, отгрузки продукции на склад и обновления статуса по заявке на взвешивание (рис. 2).

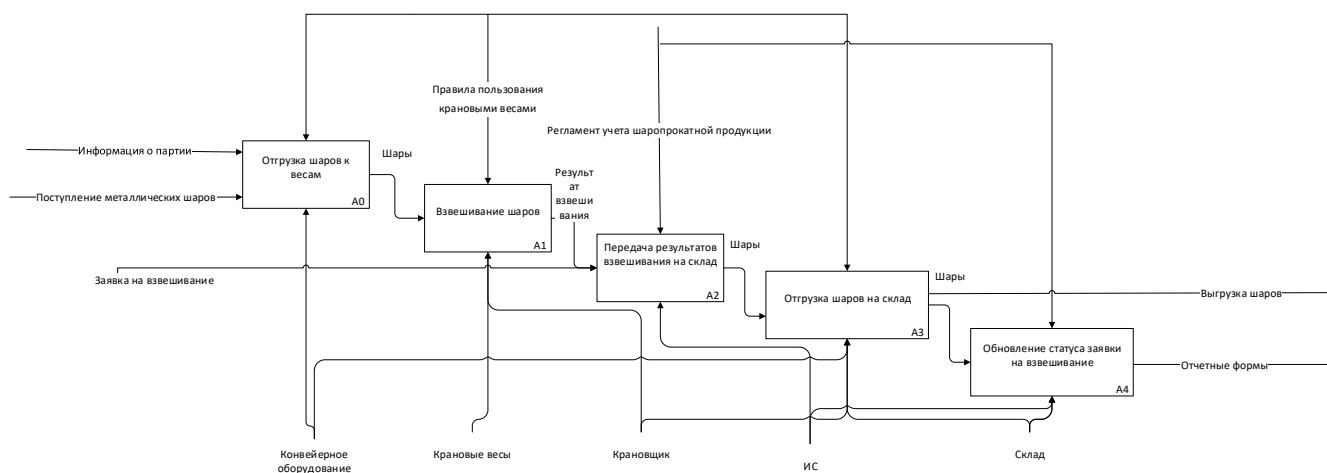


Рис. 2 – Диаграмма декомпозиции процесса учета шаропрокатной продукции

Для реализации информационной системы требуется выбрать метод подсчета результатов взвешивания шаропрокатной продукции и установить оборудование для считывания данных с крановых весов. Метод взвешивания окажет влияние на способ реализации расчетной части информационной системы.

Существует несколько способов измерения: непосредственное нахождение способом взвешивания; не прямое или косвенное определение (расчетное или вычислительное); условное; трафаретное; по стандарту.

Косвенно измеренная масса груза, перемещаемого грузоподъемной машиной, используется в качестве одного из классических информационных параметров определения массы груза на основе измерения по давлениям гидравлической жидкости в поршневой и штоковой полостях гидроцилиндров рабочего оборудования для гидравлических одноковшовых экскаваторов [3].

В качестве первичных информационных параметров методики косвенного измерения массы груза, поднимаемого экскаватором в режиме крана, по показаниям датчиков первичной измерительной информации, установленных на экскаваторе, используются: давление гидравлической полости ГЦ подъема стрелы экскаватора; углы наклона грузовой колонки (угол тангажа и угол крена); углы монтажной плоскости датчика наклона стрелы и рукояти относительно гравитационной горизонтали.

Также в качестве исходных данных в методике используются постоянные (конструктивные) параметры с известными значениями, определенными предварительными однократными измерениями, либо заданными проектной документацией на изготовление узлов и деталей машины.

Таким образом для аналитических расчетов потребуется установка на экскаватор датчиков углов наклона с акселерометрами и датчиков избыточного давления.

Разрабатываемая система должна осуществлять перерасчет результатов взвешивания шаропрокатной продукции по данным, полученным с датчиков, кроме того, в системе должна храниться информация о партии шаров, марке стали, диаметре шаров.

Оснащение весового комплекса системой автоматизации будет способствовать сокращению временных затрат на работу крановщика, обеспечит контроль его действий, позволит оптимизировать оперативный и управленческий учет продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жиров В.Г. Измерительная система взвешивания отходов металла // Датчики и системы. 2014. № 12. С. 66–67.
2. Григорьев, М. В. Проектирование информационных систем: учебное пособие для вузов / М. В. Григорьев, И. И. Григорьева. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 318с.
3. М.С. Корытов, И.К. Канин Методика косвенного измерения массы груза, поднимаемого экскаватором в режиме крана – ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия. 2018 Том 15, № 3, 2018. Сквозной номер выпуска – 61.

ПОСТРОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИТУАЦИОННОГО ПОДХОДА И ВЫВОДА НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ

Коврижных О.А., Полещенко Д.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

kovroles@mail.ru, po-dima@yandex.ru

Аннотация. В статье описывается проблема оперативного планирования производства стали. Авторами был проведен анализ производственного предприятия с применением ситуационный подход для решения задачи планирования посменно-суточных операций. Предлагается использовать интеллектуальную систему поддержки принятия решений для оперативного планирования сталеплавильного производства.

Ключевые слова: ситуационный подход; система поддержки принятия решений; сталеплавильное производство; прецедент; нейросетевая модель.

PRODUCTION SCHEDULING STEELMAKING PLANT USING SITUATIONAL APPROACH AND INFERENCE BASED ON PRECEDENTS

Kovrizhnykh O.A., Poleshchenko D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article describes the problem of operational planning of steel production. The authors have analyzed a production enterprise using a situational approach to solve the problem of planning shift-by-shift operations. It is proposed to use an intelligent decision support system for operational planning of steelmaking production.

Keywords: situational approach; decision support system; steelmaking; precedent; neural network model.

Сталеплавильное производство представляет собой сложную систему управления, работающую на выполнение плана в ограниченных производственных условиях. В настоящее время актуальной задачей является моделирование рассуждений на основе опыта работы

сменно-суточных заданий (ССЗ) и соответствующих расписаний. Актуальность исследования обуславливается практической значимостью ИСППР РВ, способных оперировать механизмами поиска решения на основе прецедентов в сталеплавильном производстве и позволяющими сокращать время на составление и корректировку производственного расписания.

Эта система основана на логическом выводе на основе прецедентов, которые представляют собой детальное описание проблемы или ситуации, включая последовательность действий, предпринимаемых для её решения. При использовании системы осуществляется поиск аналогичных прецедентов, которые можно адаптировать для решения текущей задачи.

Ключевым понятием ситуационного управления является «ситуация», которая определяется в производственном цехе ССЗ на выпуск продукции, составом и работоспособностью участвующего в процессе производства продукции оборудования. В реализации ситуационного поиска решения можно выделить следующие основные стадии: описание ситуаций, идентификация текущей ситуации по имеющимся в базе типовым ситуациям и выбор подходящего расписания из базы расписаний. Производственная ситуация в сталеплавильном производстве описывается составом ССЗ и состоянием технологических агрегатов, от работоспособности которых зависит возможность реализации производственного расписания. При требовании изменения выполнения ССЗ требуется оперативное перестроение производственного расписания.

Производственная ситуация в сталеплавильном производстве описывается составом ССЗ и состоянием технологических агрегатов, от работоспособности которых зависит возможность реализации производственного расписания, изменение выполнения ССЗ требует оперативного перестроения производственного расписания.

Ситуационное управление в данной области включает в себя оперативное реагирование на изменения в производственной среде, а также использование базы данных типовых ситуаций и расписаний для выбора оптимальных решений в реальном времени.

В контексте составления производственного расписания, прецедентом можно считать производственную ситуацию, которая уже имела место ранее, и для которой было составлено и реализовано производственное расписание. Согласно [1] прецедент включает: описание проблемы; решение этой проблемы; результат (обоснованность) применения решения. При рассмотрении новой проблемы (текущего процесса) находится похожий прецедент в качестве аналога. Можно использовать его решение, адаптировав к текущему случаю, вместо того, чтобы искать решение каждый раз сначала [2]. После того, как текущий случай будет

обработан, он вносится в базу прецедентов вместе со своим решением для последующего использования [3].

Для описания ситуаций используется модификация языка семантических сетей, названная языком ситуационного управления [4]. Описание общей ситуации представлено в формуле 1:

$$S(t) = S_1 \& S_2, \quad (1)$$

где S_1 – описание ситуации по плановым показателям, S_2 – описание ситуации по технологическим показателям.

Тогда эти ситуации могут быть представлены по формуле 2 и 3:

$$S_1 = ((cr_1N_1)(cr_2V_1) \& (cr_1N_2)(cr_2V_2) \& \dots \& (cr_1N_m)(cr_2V_m)), \quad (2)$$

где c – марка стали, r_1 – имеет имя, r_2 – имеет объем, N – наименование марки стали, V – объем, $1..m$ – индексы, соответствующие номеру марки стали.

$$S_2 = ((br_1Д)(br_31)(br_4L_1) \& (br_1Д)(br_32)(br_4L_2) \& \dots \& (br_1М)(br_36)(br_4L_{17})), \quad (3)$$

где b – технологический агрегат (оборудование), r_1 – имеет имя, r_3 – имеет номер, r_4 – находится в состоянии технической готовности, $Д(А, УП, УЦ, М)$ – наименование, обозначающее ДСП (АКОС, УПА, УЦВС, МНЛЗ), $1..k$ – индексы, соответствующие порядковому номеру технологического агрегата, L – наименование, обозначающее процент технической готовности.

СППР представляет собой систему-советчик, которая предлагает ЛПР один или несколько возможных вариантов производственного расписания в текущей производственной ситуации, причем данные варианты могут располагаться по степени убывания их важности относительно используемых критериев предпочтения. Но окончательный выбор в этом случае остается за ЛПР.

Прецедент включает совокупность ССЗ и соответствующих им расписаний. Основная задача заключается в поиске максимально похожего прецедента на основе текущей ситуации. ССЗ обычно представляется в виде вектора, состоящего из элементов, значения которых соответствуют массе определенных групп марок стали и проценту технической готовности агрегата. Применение подхода на основе прецедентов позволяет использовать опыт и знания, накопленные в прошлом, для принятия решений в текущих ситуациях. Кроме того, система-

советчик может предложить несколько вариантов расписания, учитывая предпочтения ЛПР и важные критерии. Формула 4 представляет описание вектора ССЗ:

$$A_i = (V_1, \dots, V_h, L_1, \dots, L_k), \quad (4)$$

где A_i – вектор, хранящий информацию о ССЗ, i – номер вектора, V_h – вес выплавляемой стали, входящей в определенную группу марок стали, $1..h$ – номер группы марки стали, L_k – процент технической готовности агрегата, $1..k$ – индексы, соответствующие порядковому номеру технологического агрегата.

Анализ всех имеющихся ССЗ в БЗ с использованием машинного обучения, такого как «обучение без учителя», может быть полезным для извлечения наиболее подходящего прецедента. Нейронная сеть ART-2 действительно представляет собой подходящий инструмент для этой задачи, поскольку она способна проводить кластеризацию и идентификацию изображений произвольного типа без предварительной обработки. Структура нейросети ART-2 включает один слой нейронов, где количество входных переменных соответствует количеству значений в векторе ССЗ. Количество выходов в нейросети не является постоянным, поскольку при подаче нового неизвестного ССЗ определяется его схожесть с ранее созданными кластерами. Если схожесть ниже критического порога, создается новый кластер, и количество кластеров возрастает, завися от схожести всех ССЗ. Подход, основанный на нейросети ART-2, позволяет достичь наилучшего качества кластеризации образов и обеспечивает интеллектуальный анализ данных, который может быть использован для принятия решений в производственном процессе.

Структура нейросети ART-2 включает один слой нейронов, где каждый нейрон представляет собой кластер. Количество входных переменных в нейросети равно количеству значений в векторе ССЗ. Каждый нейрон имеет входы, соответствующие этим переменным. При подаче на вход нового неизвестного ССЗ нейросеть сравнивает его с каждым кластером, используя меру схожести. Эта мера определяет, насколько близко новое ССЗ к каждому кластеру. Если схожесть ниже критического порога, то новый кластер создается для этого ССЗ. Количество кластеров в нейросети ART-2 не является постоянным и зависит от схожести всех ССЗ. При добавлении новых ССЗ, количество кластеров может возрастать, поскольку каждое новое ССЗ может быть отнесено к новому кластеру, если оно не схоже с уже существующими кластерами.

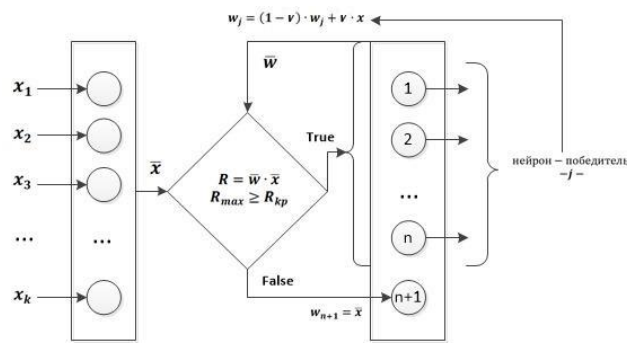


Рис. 1 – Нейронная сеть ART-2

На первой стадии алгоритма экспериментально определяются параметры нейронной сети. Для определения величины сходства $R_{кр}$ вектора ССЗ и кластера используется зависимость, где более высокое значение $R_{кр}$ соответствует более высокому сходству элементов вектора ССЗ и кластера. Затем происходит кластеризация, на основе которой элементы разбиваются на группы в зависимости от степени их сходства. Путем перебора ряда вариантов значений скорости обучения $\nu \in [0,1; 1]$ с шагом 0,1 и значений параметра сходства $R_{кр} \in [0,1; 1,3]$ было определено качество применения, которое указывает на оптимальные значения. Экспериментальным путем было достигнуто, что лучшее качество применения ART-2 достигается при $R_{кр} = 0,9$ и $\nu = 0,1$.

Далее нейронная сеть начинает работу с новыми поступившими векторами, содержащими информацию о сменах и заданиях. Типовая схема транспортно-технологических потоков сталеплавильного производства характеризуется последовательно-параллельными и перекрестными связями была представлена в статье [5] и продемонстрировала многовариантность технологических маршрутов и наличие нескольких однотипных технологических агрегатов.

Ситуационный подход позволяет выявить нештатные ситуации на ранней стадии рассогласования расписания и ССЗ, что существенно повышает вероятность «выживания» составленного графика работы. Система способна адаптироваться к изменениям и находить оптимальные решения в случае возникновения нештатных ситуаций. Общий алгоритм работы системы представлен на рис. 2.

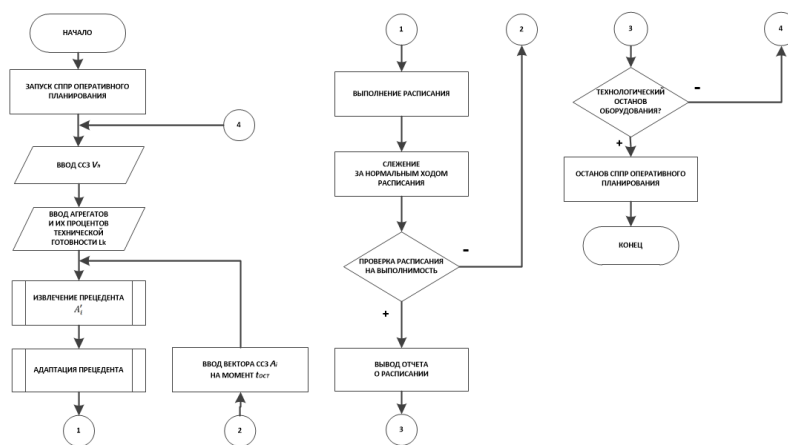


Рис. 2 – Общий алгоритм работы системы

Эффективность работы ИСППР РВ может быть определена по уменьшению времени простоя агрегатов и времени переналадки оборудования в течение смены. ИСППР РВ может учитывать информацию о переналадке и предлагать варианты расписания, которые минимизируют время переналадки и оптимизируют использование оборудования.

ИСППР РВ способна уменьшить время простоя агрегатов и время переналадки оборудования, это может привести к производству дополнительного объема стали на 1,5%. Однако конкретные результаты могут различаться в зависимости от особенностей производства, используемых агрегатов и других факторов. Поэтому важно проводить анализ эффективности работы ИСППР РВ на конкретном предприятии и учитывать все факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klaus Dieter Althof, Eric Auriol, Ralph Barlette, Michel Manago, 1995. A Review of Industrial Case-Based Reasoning Tools, AI Intelligence.
2. Городилов А.Б., 2010. Адаптивное управление наукоемким производством на основе прецедентов. Материалы XXX Российской школы по проблемам науки и технологий, посвященной 65-летию Победы «Наука и технологии». Екатеринбург: УрО РАН: 260-264.
3. Варшавский, П.Р., 2008. Механизмы правдоподобных рассуждений на основе прецедентов (накопленного опыта) для систем экспертной диагностики. Труды 11-ой национальной конференции по ИИ с международным участием (КИИ-2008, г. Дубна, Россия). В 3-х т., Т. 2. М: ЛЕНАНД:106-113.
4. Поспелов, Д.А., 1986. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука. Гл.ред.изд.физ.-мат. лит., 288 с.

5. Боева Л.М., Коврижных О.А., 2021 Оперативная корректировка производственных планов с использованием технологий и алгоритмов гибких производственных систем. Экономика. Информатика. 48 (4): 802-809. DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-802-809.

О ПРИМЕНЕНИИ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ ДЛЯ РАННЕГО РАСПОЗНАВАНИЯ ШЛАКА

Корнев А.В., Полещенко Д.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
korenev01@mail.ru, po-dima@yandex.ru

***Аннотация.** В данной работе рассмотрена проблема раннего распознавания шлака при разливке стали. Апробирован метод сингулярного спектрального анализа сигнала виброускорения манипулятора защитной трубы машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с целью выявления изменения его характера перед началом поступления шлака в промежуточный ковш.*

Ключевые слова: непрерывная разливка стали; сингулярный спектральный анализ; проблема раннего распознавания шлака; вибрационный метод.

ON THE APPLICATION OF SINGULAR SPECTRAL ANALYSIS OF THE VIBRATION ACCELERATION SIGNAL FOR EARLY SLAG RECOGNITION

Korenev A.V., Poleshenko D.A.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** In this paper, the problem of early recognition of slag during steel casting is considered. The method of singular spectral analysis of the vibration acceleration signal of the manipulator of the protective tube of the continuous casting machine has been tested in order to identify changes in its nature before the start of slag entering the intermediate ladle.*

Keywords: continuous casting of steel; singular spectral analysis; the problem of early slag recognition; vibration method.

Разливка стали является важной стадией сталеплавильного производства. Существует несколько способов разливки: сверху в изложницы, сифоном и на устройстве непрерывной разливки стали. Самым распространенным является способ непрерывной разливки стали, при

котором жидкому металлу придается форма прямоугольника или квадрата, либо сортовая заготовка для последующей обработки на прокатных станах.

Одной из важных технологических операций при непрерывной разливке стали является процесс слива металла из сталеразливочного ковша. При его переливе важным и сложным этапом служит определение момента начала поступления шлака в промежуточный ковш [1].

Решение данной проблемы очень важно, так как, во-первых, унос шлака из сталковша вызывает ухудшение качества стали. Во-вторых, другим следствием уноса шлака является сокращение срока службы промежуточного ковша. С другой стороны, преждевременное закрытие шибера создает ситуацию, когда вместе со шлаком большое количество годного металла бракуется.

Все это приводит к потерям металлургических предприятий.

В данной работе рассмотрен вибрационный метод контроля за процессом начала поступления шлака в промковш, так как он является наиболее информативным [2, 3]. Исследования проводились на сигналах, снятых с реального промышленного объекта. Акселерометры были установлены на манипулятор защитной трубы МНЛЗ.

Вибрация в объекте создается за счет удара стали по шиберу, который дросселирует ее поток из сталковша в промежуточный ковш. Исходя из того, что плотность жидкой стали значительно отличается от плотности шлака, возникла гипотеза о том, что уровень сигнала вибрации должен изменяться при начале поступления шлака в промежуточный ковш. К таким же выводам пришли авторы в работах [4, 5]. Таким образом, целью исследований является разработка такого алгоритма обработки сигнала виброускорения, который позволит своевременно (при начале поступления шлака) обнаружить изменения его характера поведения.

В работе [6] был опробован анализ спектра мощности сигнала виброускорения. Стоит отметить, что для некоторых разливок так и не удалось зафиксировать начало истечения шлака, поэтому в данной работе предложен другой способ - сингулярный спектральный анализ (ССА) сигнала виброускорения.

ССА - метод анализа временных рядов, основанный на преобразовании одномерного временного ряда в многомерный ряд с последующим применением к полученному многомерному временному ряду метода главных компонент.

Математической основой ССА-метода является сингулярное разложение. Для успешного применения ССА-метода следует последовательно пройти несколько шагов: вложение временного ряда в траекторную матрицу; сингулярное разложение с нахождением собственных чисел и ортонормированных собственных векторов; группировка элементарных матриц по принципу принадлежности к тренду, периодическим колебаниям или к шуму;

диагональное усреднение с получением нескольких временных рядов: один описывает тренд исходного временного ряда, другой – периодические колебания, а третий – шумовые составляющие [7].

В данной работе разложение сигналов виброускорения различных плавков на составляющие было произведено для различных ширин окон, равных 20, 25, 50, 100, 150, а также 200 тактов (секунд). Их анализ показал, что для большинства сигналов наблюдается наиболее заметное изменение их амплитуды при ширине окна, равной 200 тактов.

Примеры сигналов и их составляющих с начала записи сигнала и до момента закрытия шибберного затвора оператором показан на рисунках 1-3.

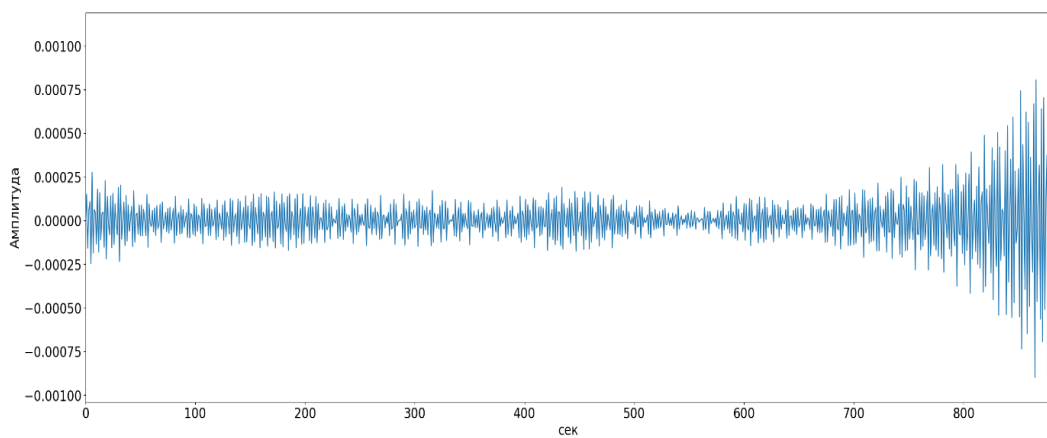


Рис. 1 – Одна из составляющих первого сигнала

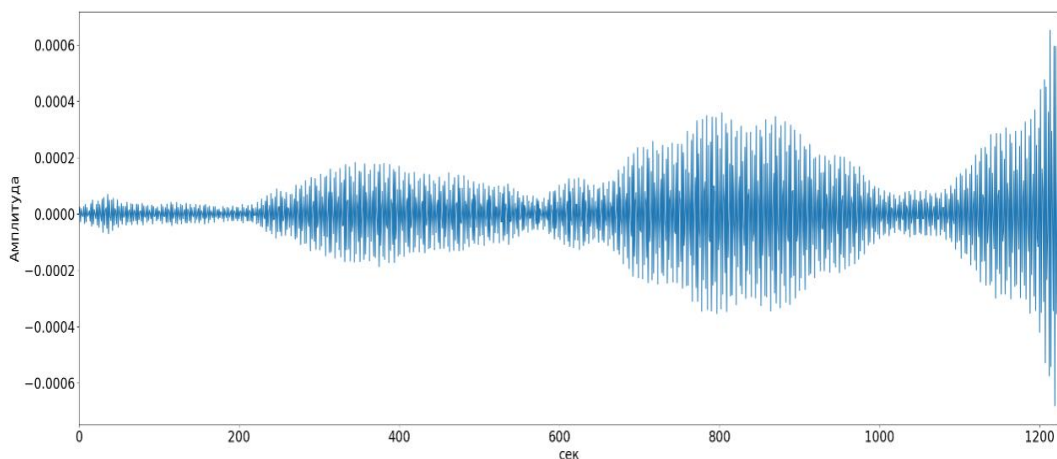


Рис. 2 – Одна из составляющих второго сигнала

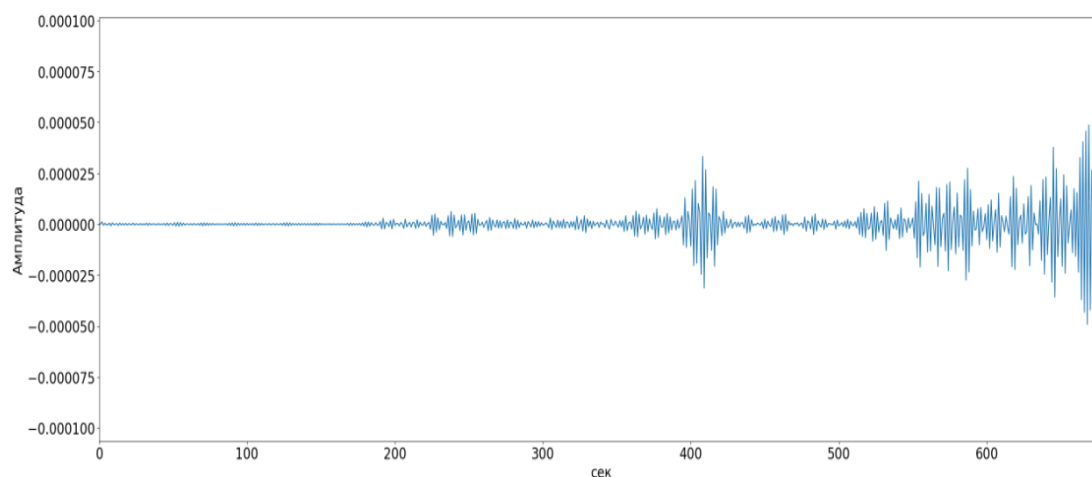


Рис. 3 – Одна из составляющих третьего сигнала

Как можно заметить на графиках, незадолго до начала поступления шлака наблюдается тенденция увеличения амплитуды одной из составляющих сигнала виброускорения, что в дальнейшем даст возможность на базе этого явления сформировать критерий отсечки шлака.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kapusuz H., Güvenç M. A., MISTIKOĞLU S. A review study on ladle slag detection technologies in continuous casting process // International Advanced Researches and Engineering Journal. – 2019. – Т. 3. – №. 3. – С. 144-149.
2. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А. О разработке и промышленной апробации системы отсечки шлака при разливке стали // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2019. – Т. 62. – №. 5. – С. 353-359.
3. Tan D.P., Ji S.M., Li P.Y., Pan X.H. Development of vibration style ladle slag detection methods and the key technologies // Science China. Technological Sciences. 2010. Vol. 53. №9. P. 2378 – 2387.
4. Семенов М.В., Красильников С.С., Швидченко Д.В., Пишнограев Р.С. Вибродетектирование шлака при сливе стали из стальной ковша в промежуточный ковш // Автоматизированные технологии и производства. – 2015. – №. 2. – С. 40-42.
5. Tan D.P., Li P.Y., Ji Y.X., Wen D.H., Li C. SA-ANN-based slag carry-over detection method and the embedded WME platform // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2012. – Т. 60. – №. 10. – P. 4702-4713.
6. Корнев А.В., Полещенко Д.А. Разработка критериев отсечки шлака сталеразливочного ковша МНЛЗ на основе анализа спектра мощности сигнала виброускорения // Сборник XX всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов. – 2023. – С. 401-403.

7. Кашкин В. Б., Рублева Т. В. Применение сингулярного спектрального анализа для выделения слабо выраженных трендов //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2007. – Т. 311. – №. 5. – С. 116-119.

ВАЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ В АСПЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Корнев А.М.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (Оскольский политехнический колледж),
Россия, Старый Оскол, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42
55d55r77@gmail.com, 8-908-789-45-12*

***Аннотация.** Автоматизация производственных процессов является основным направлением современного развития промышленности. В статье сделан акцент на автоматизации, описывая переход от механического к интеллектуальному труду, с использованием высокотехнологичных систем управления повышения эффективности и качества продукции. Отмечены преимущества, такие как увеличение производительности, точное планирование, повышение безопасности и экологичности. Однако, подчеркнута возможность негативных последствий, связанных с возможным сокращением рабочих мест и снижением доходов населения.*

Ключевые слова: управление предприятием; автоматизация производства; экономические последствия автоматизации.

THE IMPORTANCE OF USING AUTOMATION IN THE ASPECT OF ENTERPRISE MANAGEMENT

Korenev A.M.

*Oskol Polytechnic College of the Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»
Russia, Stary Oskol*

***Abstract.** Automation of production processes is the main direction of modern industrial development. The article focuses on automation, describing the transition from mechanical to intellectual labor, using high-tech management systems to improve product efficiency and quality. Advantages such as increased productivity, precise planning, increased safety and environmental friendliness are noted. However, the possibility of negative consequences associated with possible job cuts and lower incomes of the population was emphasized.*

Keywords: enterprise management; automation of production; economic consequences of automation.

Ключевым направлением развития и совершенствования промышленности является автоматизация производственных процессов. Этот процесс предполагает передачу оборудованию функций контроля и управления. Сегодня автоматизация включает не только механический, но и интеллектуальный труд. Применение сложных вычислительных систем и сенсоров, автоматически отслеживающих информацию о деятельности, позволяет создавать многоуровневые схемы управления.

Автоматизация производств на предприятиях обеспечивает выпуск продукции в строгом соответствии с требованиями стандартов, соблюдение сроков и объемов заказов, а также сохранение параметров и высокого качества товаров.

Автоматизация – комплекс мер по внедрению машин, механизмов, математических моделей, программного обеспечения в производственные процессы. Итог этих мер – выполнение существенной части технологических операций не людьми, а специальным оборудованием [1].

Современные технологии, интегрированные в производственные процессы, способствуют улучшению качества и функциональности продукции, стимулируют экономический рост и расширение ассортимента выпускаемых товаров. Производители из различных стран стремятся к внедрению передовых разработок для оптимизации производственных процессов и успешного выхода на мировой рынок, где требовательность потребителей достигает пика. Предприятия, специализирующиеся на высокотехнологичной продукции, отличаются высоким уровнем автоматизации своих производственных мощностей.

Металлообрабатывающие компании в разных странах, включая Россию, специализируются на изготовлении металлических деталей — от валов, гаек и винтов до корпусов, рам и компонентов двигателей, а также колесных дисков и других деталей. Однако такие производства часто сталкиваются с рисками для здоровья работников из-за небезопасности рабочих процессов. Эта проблема находит свое решение благодаря использованию оборудования. Такое оборудование значительно увеличивает скорость производства, повышает точность изготовления изделий и позволяет создавать компоненты для специальных конструкций, которые невозможно изготовить на обычном ручном оборудовании. Предприятия, оснащенные такой техникой, немедленно приобретают конкурентное преимущество благодаря улучшенной эффективности производства и возможности создания более сложных и точных деталей.

В контексте автоматизации предприятия возникает ряд преимуществ:

- повышение стандартов качества выпускаемой продукции;
- оптимизация рабочего состава и персонала, связанного с обслуживанием;
- увеличение общей производительности и эффективности процессов;
- точное планирование производства разнообразной продукции;
- улучшение параметров безопасности и экологической устойчивости;
- поддержание согласованной и непрерывной работы системы;

Когда автоматизация активно проникает в экономику, это не только может повлиять сокращение рабочих мест, но и оказать негативное воздействие на сами компании, которые используют эти технологии. Понятие "технологической безработицы", часто встречаемое в последнее время, предупреждает о постепенном снижении доходов для работающего населения, тогда как доходы капитала, возможно, начнут расти. Уменьшение доходов у людей может привести к кризису избыточного производства. Ведь капиталу необходимо работать и приносить прибыль, что становится возможным только при активных продажах товаров и услуг компании, в которую он вложен. Уменьшение доходов у населения снизит спрос на эти товары и услуги. Люди, ограниченные в доходах, будут приобретать лишь необходимое в ограниченных количествах. Это приведет к падению цен на товары и доходов у инвесторов из-за снижения покупательной способности и цен на товары.

Таким образом автоматизации на предприятии имеет ряд преимуществ, но чрезмерные инновации могут привести к негативным последствиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платформа омниканального маркетинга [Электронный ресурс]: <https://www.calltouch.ru/>
2. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств. Издательство ФОРУМ, 2023.
3. Схиртладзе А.Г., Федотов А.В., Хомченко В.Г. Автоматизация технологических процессов и производств. Издательство Ай Пи Эр Медиа, 2019.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗА С ПОДАВЛЕНИЕМ КОЛЕБАНИЙ

Косарев И.В., Молодых А.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
vanyusha-kosarev@inbox.ru, young_al@mail.ru

***Аннотация.** Выполнен анализ системы гашения маятниковых колебаний груза во время передвижения тележки промышленного крана с применением модального регулятора. Представлена модель перемещения груза, построенная в пространстве состояний, рассчитаны параметры регулятора. Анализ результатов моделирования показал возможность практического применения предлагаемой системы.*

Ключевые слова: уравнение Лагранжа; пространство координат состояний; маятник.

SIMULATION OF A LOAD MOVEMENT SYSTEM WITH OSCILLATIONS SUPPRESSION

Kosarev I.V., Molodykh A.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The analysis of the system damping load pendulum oscillations during the movement of the industrial crane trolley using a modal regulator is performed. A model of cargo movement in the state space is presented, and the parameters of the regulator are calculated. The analysis of the simulation results showed the possibility of practical application provided system.*

Keywords: Lagrange equation; state space; pendulum.

В сфере грузоподъемной техники является актуальной проблема гашения маятниковых колебаний груза при перемещении его промышленным краном. При приложении силы к механизму передвижения крана (тележки) возникают колебания подвешенного на канате груза, амплитуда которых зависит от ускорения тележки и длины подвеса каната. Для уменьшения амплитуды колебаний груза ускорение механизма должно быть ограничено, что приводит к увеличению времени переходных процессов и снижению производительности

работы крана. Наличие остаточных колебаний груза в конце переходного процесса осложняет процесс управления краном и затрудняет точную установку грузов.

Для решения задачи синтеза регулятора системы перемещения груза, ограничивающей амплитуду колебаний, представим модель тележки крана в математическом виде, воспользовавшись системой уравнений Лагранжа второго рода [2].

Уравнение Лагранжа второго рода имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \frac{dL}{dq_c} - \frac{dL}{dq_c} = f_i, \quad (1)$$

где: f_i – обобщенная сила;

L (функция Лагранжа) – разность кинетической T и потенциальной U энергий;

\dot{q}_c – обобщенная скорость;

q_c – обобщенная координата.

В качестве обобщенных координат рассматриваемой модели приняты позиция $x_c(t)$ тележки, угол поворота маятника $\alpha(t)$, а так же их производные – линейная и угловая скорости.

Потенциальная энергия данной системы определяется только потенциальной энергией отклонённого на угол α маятника, поскольку вертикальное положение тележки принято за начало отсчета:

$$U = mgh = mgl(1 - \cos \alpha), \quad (2)$$

где: m – масса груза;

g – ускорение свободного падения;

l – длина троса.

Полная кинетическая энергия состоит из кинетических энергий поступательного движения тележки и движения центра масс маятника:

$$T = \frac{1}{2} M \cdot \dot{x}_c^2 + \frac{1}{2} m (\dot{x}_c^2 + 2\dot{x}_c l \dot{\alpha} \cos \alpha + l^2 \dot{\alpha}^2), \quad (3)$$

Тогда функция Лагранжа примет вид

$$L = \frac{1}{2} M \cdot \dot{x}_c^2 + \frac{1}{2} m (\dot{x}_c^2 + 2\dot{x}_c l \dot{\alpha} \cos \alpha + l^2 \dot{\alpha}^2) - mgl(1 - \cos \alpha), \quad (4)$$

Составим систему уравнений Лагранжа для модели.

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{dL}{dx_c} - \frac{dL}{dx_c} = f_T \\ \frac{d}{dt} \frac{dL}{d\dot{\alpha}} - \frac{dL}{d\dot{\alpha}} = 0 \end{cases}, \quad (5)$$

где: x_C – позиция тележки;

α – угол поворота маятника;

\dot{x}_C – скорость тележки;

$\dot{\alpha}$ – угловая скорость маятника;

f_T – сила которая воздействует на тележку.

Продифференцируем (5) с заменой нелинейных функций при малых значениях их аргументов первыми членами их разложения в ряд Тейлора:

$$\begin{cases} (M + m)\ddot{x}_C + ml\ddot{\alpha} = f_T \\ ml\ddot{x}_C + ml^2\ddot{\alpha} + mgl\alpha = 0 \end{cases} \quad (6)$$

где: \ddot{x}_C - ускорение тележки;

$\ddot{\alpha}$ - угловое ускорение маятника.

Система уравнений приводится к нормальной форме Коши:

$$\begin{aligned} \ddot{\alpha} &= -\frac{f_T}{Ml} - \frac{g(M+m)\alpha}{Ml} \\ \ddot{x}_C &= \frac{f_T}{M} + \frac{gm\alpha}{M} \end{aligned} \quad (7)$$

Вводится вектор состояния:

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_C(t) \\ \alpha(t) \\ \dot{x}_C(t) \\ \dot{\alpha}(t) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

Данный вектор был введен относительно составляющих уравнений.

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_3 = \dot{x}_C \\ \frac{dx_2}{dt} = x_4 = \dot{\alpha} \\ \frac{dx_3}{dt} = \ddot{x}_C = \frac{f_T}{M} + \frac{gm\alpha}{M} \\ \frac{dx_4}{dt} = \ddot{\alpha} = -\frac{f_T}{Ml} - \frac{g(M+m)\alpha}{Ml} \end{cases} \quad (9)$$

Параметры модели в пространстве состояний:

$$\begin{aligned}
 A &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{gm}{M} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{g(M+m)}{Ml} & 0 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \\ -\frac{1}{Ml} \end{bmatrix} \\
 C &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Чтобы влиять на все состояния по отдельности, необходимо найти матрицу, благодаря которой будет обеспечиваться устойчивый процесс управления. Воспользуемся модальным регулятором, т. к. с его помощью есть возможность обеспечивать для замкнутой системы требуемое расположение полюсов (корней).

Ввод регулятора K в систему преобразует управляющее воздействие к виду $u = -Kx$. Подставив управляющее воздействие в уравнение состояния получим: $\dot{x}_c = (A - BK)x$. Таким образом, регулятор K будет напрямую влиять на расположение полюсов матрицы состояния и тем самым влиять на поведение системы.

В MATLAB / Simulink была разработана модель системы перемещения груза (рис. 1). В качестве исходных данных были приняты параметры промышленного мостового крана: масса тележки $M = 4$ т; масса груза $m = 16$ т; длина подвеса $l = 7.5$ м. На вход модели подавались задания по линейной скорости тележки крана с максимальным значением $0,6$ м/с и координате тележки. Коэффициенты регулятора были получены с помощью методики, описанной в [1], время регулирования при этом было принято равным 4 с.

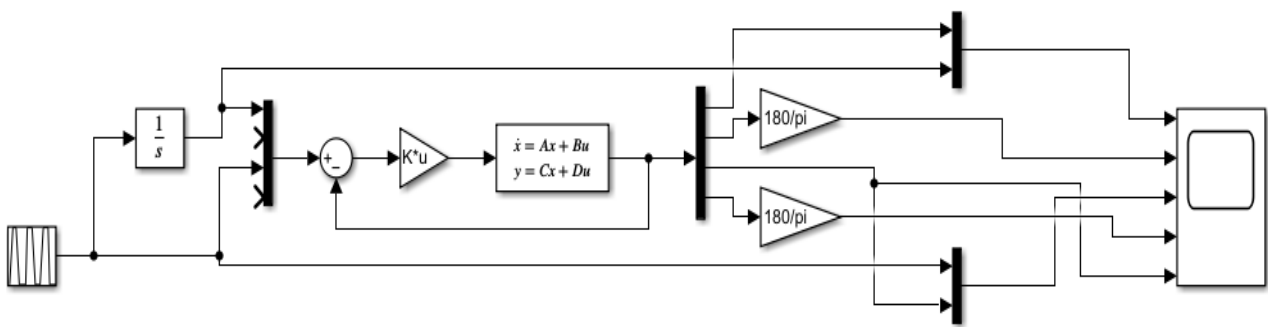


Рис. 1 – Модель тележки с грузом

В результате моделирования были получены графики положения тележки крана, ее скорости, угла отклонения груза от вертикали и его угловой скорости (рис. 2).

Анализ результатов моделирования рассмотренной системы показал, что перерегулирование по величине положения тележки не превысило 0,7 %; по скорости – 6 %. Максимальное отклонение троса от вертикали составило – 0,6 °.

Полученные результаты показали, что рассмотренная система управления движением механизма перемещения груза имеет достаточно хорошие показатели, соответствующие требованиям реальных производственных объектов.

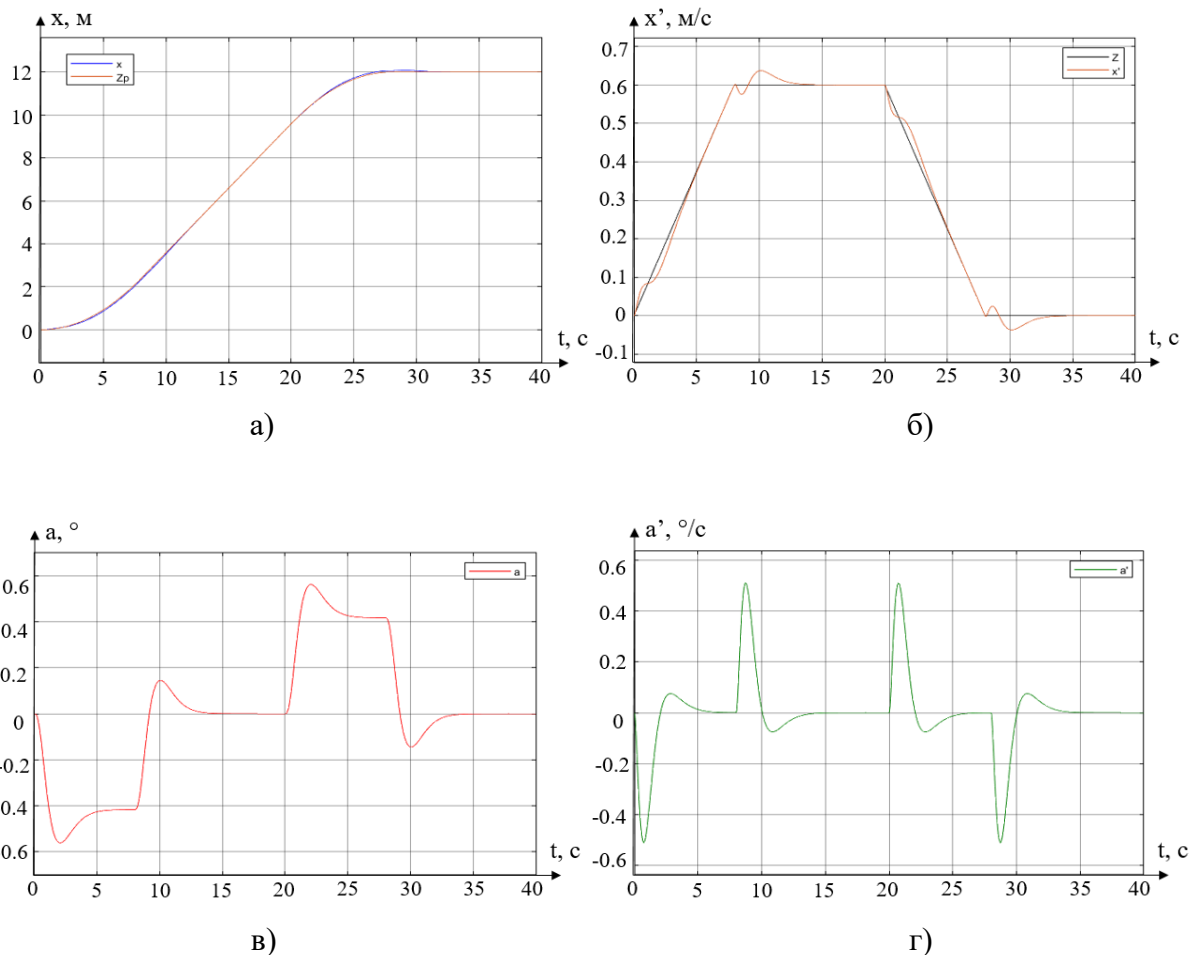


Рис. 2 – Результаты моделирования системы: а) положение тележки с грузом; б) линейная скорость тележки; в) угол отклонения груза от вертикали; г) угловая скорость груза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов систем автоматического управления. Том 3 – М.: Издательство МГТУ им Н.Э. Баумана, 2004.
2. Бутенин Н.В. Введение в аналитическую механику. – М.: Наука, 1971.
3. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop. Modern Control Systems (13th Edition) – Pearson education international, 2008.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ,
ПОЛУЧЕННЫМ ПРИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ
В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ**

Кривонос В.А., Козырь О.Ф.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
krivonosov_v_a@mail.ru; kozyr_o@mail.ru

Аннотация. *Рассматривается задача оценивания параметров математических моделей динамических технологических объектов, по экспериментальным данным, полученным в процессе нормальной эксплуатации объекта в замкнутом контуре управления. Показано, что оценки, полученные по этим данным с использованием метода наименьших квадратов, являются смещенными. Приведены условия, при которых объект управления является неидентифицируемым.*

Ключевые слова: идентификация; динамический технологический объект; контур управления; управляющее устройство; смещение оценок; условие неидентифицируемости.

**IDENTIFICATION OF TECHNOLOGICAL OBJECTS BASED ON DATA OBTAINED
DURING THEIR OPERATION IN A CLOSED CONTROL LOOP**

Krivosov V.A., Kozyr O.F

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *The problem of estimating the parameters of mathematical models of dynamic technological objects, based on experimental data obtained during the normal operation of the object in a closed control loop, is considered. It is shown that the estimates obtained from these data using the least squares method are biased. The conditions under which the control object is unidentifiable are given.*

Keywords: identification; dynamic technological object; control loop; control device; estimation bias; unidentifiability condition.

Идентификация технологических объектов по результатам их нормального функционирования в замкнутом контуре управления является одной из основных задач [1, 2], возникающих при проектировании эффективных автоматизированных систем управления для действующих технологических процессов, а также при работе адаптивных систем. Обратная связь в контуре управления [2] может быть реализована автоматическим регулятором или человеком-оператором.

Функциональная схема замкнутого контура управления приведена на рисунке 1.

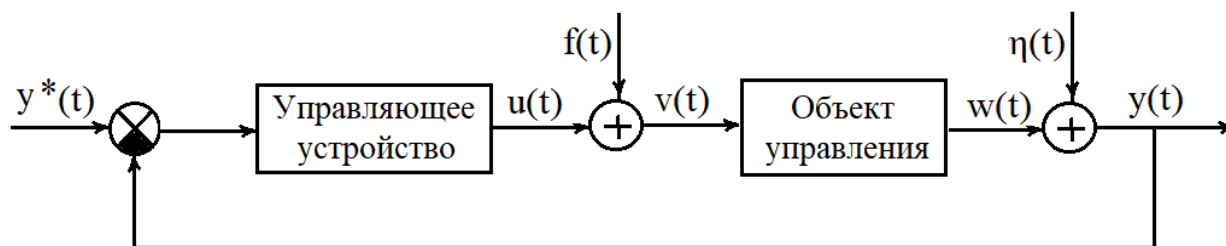


Рис. 1 – Функциональная схема замкнутого контура управления

На рисунке 1 $y^*(t)$ – задающее воздействие (уставка) контура; $u(t)$ – измеряемое управляющее воздействие, формируемое управляющим устройством (автоматический регулятор или человек-оператор); $f(t)$ – не измеряемое возмущающее воздействие; $v(t)$ – не измеряемый реальный вход объекта управления; $w(t)$ – реальный выход объекта; $\eta(t)$ – погрешность измерения выхода; $y(t)$ – результат измерения выхода.

Как правило, для идентификации используется метод наименьших квадратов (МНК). Однако экспериментальные данные ($u(t)$ и $y(t)$), полученные в результате функционирования объекта в замкнутом контуре, имеют ряд особенностей [1-3], усложняющих идентификацию и нарушающих предпосылки получения несмещенных МНК-оценок параметров объекта:

1) В режиме нормального функционирования контура управления технологическими параметрами задающее воздействие $y^*(t)$ изменяется в весьма узких пределах или остается постоянным для всей последовательности экспериментальных данных. При этом управляющее воздействие $u(t)$ направлено в основном на компенсацию неконтролируемого возмущения $f(t)$. Диапазоны изменения $u(t)$ и $f(t)$, а также $y(t)$ и $\eta(t)$ будут соизмеримы. Иными словами, соотношения сигнал/шум во входных и выходных экспериментальных данных объекта достаточно низкие.

2) Обратная связь через управляющее устройство приводит к тому, что сигналы $u(t)$ и $y(t)$, используемые для идентификации, связаны не только оператором объекта, но и оператором управляющего устройства. Такая зависимость часто приводит к неидентифицируемости объекта [1-4]. В частности, неидентифицируемость объекта

возникает, если порядок передаточной функции управляющего устройства ниже порядка объекта управления [3], а уставка $y^*(t)$ во время получения экспериментальных данных не изменялась. Так, например, если в контуре использован пропорциональный регулятор с передаточной функцией K_{Π} , то зависимость выхода объекта $y(t)$ от управляющего воздействия $u(t)$ может быть ошибочно представлена следующей моделью:

$$y(t) = \frac{1}{K_{\Pi}} \cdot u(t) \quad (1)$$

Действие обратной связи через управляющее устройство вызывает существенную корреляцию управляющего воздействия $u(t)$ с возмущением $f(t)$ и погрешностью измерения $\eta(t)$, а выход объекта $y(t)$ коррелирован с предысторией входного возмущения $f(t)$, что нарушает условия получения несмещенных МНК-оценок параметров идентифицируемого объекта.

Пусть математическая модель идентифицируемого объекта управления, функционирующего в контуре управления, представленном на рисунке 1, в дискретной форме описывается следующим разностным уравнением:

$$w[k] = \sum_{i=1}^n a_i \cdot w[k-i] + \sum_{j=1}^n b_j \cdot v[k-j], \quad (2)$$

$$y[k] = w[k] + \eta[k]; v[k] = u[k] + f[k],$$

где a_i, b_j – неизвестные параметры объекта.

Запишем уравнение (2) объекта для последовательности экспериментальных данных на N тактах в матричной форме

$$Y = H \cdot A + E + \Psi \cdot A, \quad (3)$$

где $Y^T = (y[n+1], y[n+2], \dots, y[n+N])$; $A^T = (a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n)$;

T – символ транспонирования; $H = \begin{bmatrix} y[n] & \dots & y[1] & u[n] & \dots & u[1] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y[n+N-1] & \dots & y[N] & u[n+N-1] & \dots & u[N] \end{bmatrix}$;

$E^T = (\eta[n+1], \eta[n+2], \dots, \eta[n+N])$;

$\Psi = \begin{bmatrix} -\eta[n] & \dots & -\eta[1] & f[n] & \dots & f[1] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\eta[n+N-1] & \dots & -\eta[N] & f[n+N-1] & \dots & f[N] \end{bmatrix}$.

МНК-оценку \hat{A} неизвестных параметров получим в результате минимизации суммы S квадратов составляющих вектора невязок $\Delta Y = Y - H \cdot \hat{A}$:

$$S = (\Delta Y)^T \cdot (\Delta Y) = (Y - H \cdot \hat{A})^T \cdot (Y - H \cdot \hat{A}) \quad (4)$$

Минимум (4) достигается при параметрах \hat{A} , обеспечивающих нулевые значения частных производных (4) по всем искомым параметрам. Для этого должно выполняться следующее условие:

$$H^T \cdot Y = H^T \cdot H \cdot \hat{A} \quad (5)$$

Из последнего уравнения получаем МНК-оценку

$$\hat{A} = (H^T \cdot H)^{-1} \cdot H^T \cdot Y \quad (6)$$

Заметим, что уравнение (5) может быть получено из уравнения (3) объекта, если его обе части умножить слева на H^T и отбросить слагаемые $H^T \cdot E + H^T \cdot \Psi$, обусловленные погрешностью $\eta(t)$ измерения выхода и входным возмущающим воздействием $f(t)$. При этом вектор E погрешностей измерения и матрица H экспериментальных данных в предыдущие моменты времени, как правило, некоррелированы. То есть

$$M(H^T \cdot E) = 0, \quad (7)$$

где M – символ математического ожидания.

Поэтому слагаемое $H^T \cdot E$ не приводит к смещению МНК-оценок идентифицируемых параметров.

В то же время, при любом порядке n динамики объекта управления

$$M(H^T \cdot \Psi) \neq 0 \quad (8)$$

Особенно существенно это слагаемое, если входное возмущение $f(t)$ представляет собой низкочастотный сигнал. Поэтому МНК-оценка (6), не учитывающая слагаемое $H^T \cdot \Psi$, математическое ожидание которого отлично от нуля, является смещенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворчик Б.Г. Идентификация объекта в стохастической замкнутой системе // Автоматика и телемеханика. - 1975, № 4, С. 32-48.
2. Кривонос В.А., Дурнева Ю.В. Идентификация объекта по результатам его нормальной эксплуатации в замкнутом контуре управления // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009, Том 5, № 1, С. 44-47.
3. Ворчик Б.Г. Идентифицируемость параметрических стохастических систем // Автоматика и телемеханика. - 1985, № 5, С. 96-109.
4. Ломов А.А. Параметрическая идентифицируемость стохастических систем // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2002, № 2, С. 53-58

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИКЛОВ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕКРЕСТКА

Курманова Д.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
kurmanowa2001@yandex.ru

Аннотация. В статье приведено описание циклов светофорного регулирования 4-х перекрестков с пересечением улиц в городе Старый Оскол. Представлено решение задачи оптимизации времени работы разрешающего сигнала светофора для транспортных средств с заданными значениями потоков автомобилей в каждом из направлений и с первоначальными данным циклов светофоров. Для реализации работы использовано программное обеспечение AnyLogic.

Ключевые слова: регулируемый перекресток; цикл работы светофора; оптимизация; транспортное средство; AnyLogic; Яндекс Карты.

OPTIMIZATION OF TRAFFIC LIGHT CONTROL CYCLES AT INTERSECTION

Kurmanova D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article describes the cycles of traffic light regulation of 4 intersections with the intersection of streets in the city of Stary Oskol. The paper presents a solution to the problem of optimizing the operating time of the resolving signal of a traffic light for vehicles with specified values of car flows in each direction and with the initial data of traffic light cycles. AnyLogic software was used to implement the work.

Keywords: adjustable intersection; traffic light cycle; optimization; vehicle; AnyLogic; Yandex Maps.

Оптимизация циклов светофорного регулирования перекрестков является актуальной задачей. Их эффективное регулирование дает возможность увеличить пропускную способность перекрестка, а также уменьшить время ожидания проезда перекрестка транспортным средством [1].

В городе Старый Оскол для оптимизации горения фаз светофоров рассмотрена система перекрестков с явно выраженными проблемами проезда автомобилей.

В работе использовали пакет прикладной программы AnyLogic [4], которая позволяет построить модель требуемых перекрестков, а также выполнить оптимизацию фаз горения светофоров. Для наглядного построения были взяты снимки требуемых дорожных покрытий в приложении «Яндекс Карты».

Первоначальный снимок рассматриваемых перекрестков представлен на рисунке 1. Для упрощения дальнейшей работы снимок разделили на количество рассматриваемых перекрестков, а также с помощью утилиты «Линейка» в приложении измерили длину дорожного покрытия между каждым из перекрестков.

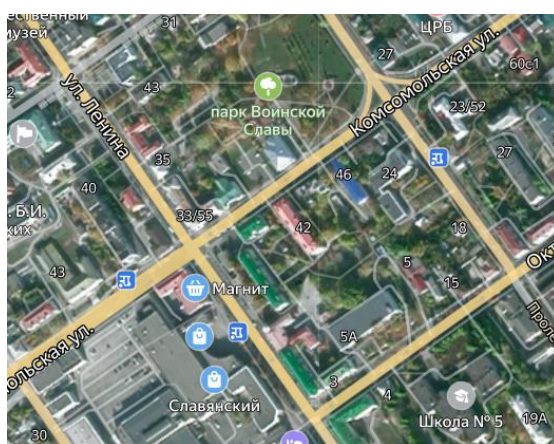


Рис. 1 – Схема перекрестков в г. Старый Оскол

Для полного анализа текущей ситуации режимов работ светофоров посчитали количество машин при движении различных направлений. Подсчет автомобилей происходил в будние дни, а также в выходной в различный диапазон времени [2]. Для наглядного представления о количестве машин исходные данные занесли в таблицу 1.

Таблица 1 – Количество машин

Перекресток	Направление	Воскресенье	Вторник	Пятница
		с 12:00 до 13:10	с 7:30 до 9:00	с 16:30 до 18:00
ул. Октябрьская, ул. Пролетарская	1	-	151	176
	2	-	157	252
ул. Комсомольская, ул. Ленина	1	682	1527	1856
	2	103	82	180
	3	58	263	101

	4	108	388	417
	5	238	492	645
	6	413	1519	1521
	7	293	587	664
ул. Комсомольская, ул. Пролетарская	1	986	1532	1677
	2	735	452	632
	3	38	98	64
	4	76	45	138
	5	365	224	465
	6	86	260	461
	7	10	44	156
ул. Ленина, ул. Революционная	1	437	815	1165
	2	9	36	19
	3	10	19	21
	4	346	576	1036
	5	39	58	70
	6	3	19	30
	7	14	37	53
	8	23	26	41
	9	20	73	64
	10	2	3	24
	11	6	17	35
	12	11	23	38
ул. Октябрьская, ул. Пролетарская	1	941	1890	2179
	2	0	13	20
	3	91	256	277
	4	238	521	573
	5	0	36	4
	6	2	8	13
	7	0	0	7

Итоговая модель в программе AnyLogic представлена на рисунке 2. В программной среде AnyLogic соединили 5 перекрестков дорожным покрытием [3], а также прописали действия автомобилей с помощью таких функций, как:

- carSource – создает автомобили и пытается поместить их в указанное место дорожной сети;
- carMoveTo – блок, который управляет движением автомобиля;
- carDispose – удаляет машины из модели.

В блоке «carSource» прописали снятые значения, а также параметр, как «Длина» автомобиля, которую приняли равной 4,8 м, согласно источникам в сети Интернет, а также «Интенсивность прибытия», которая равна среднему значению количества машин из таблицы 1.

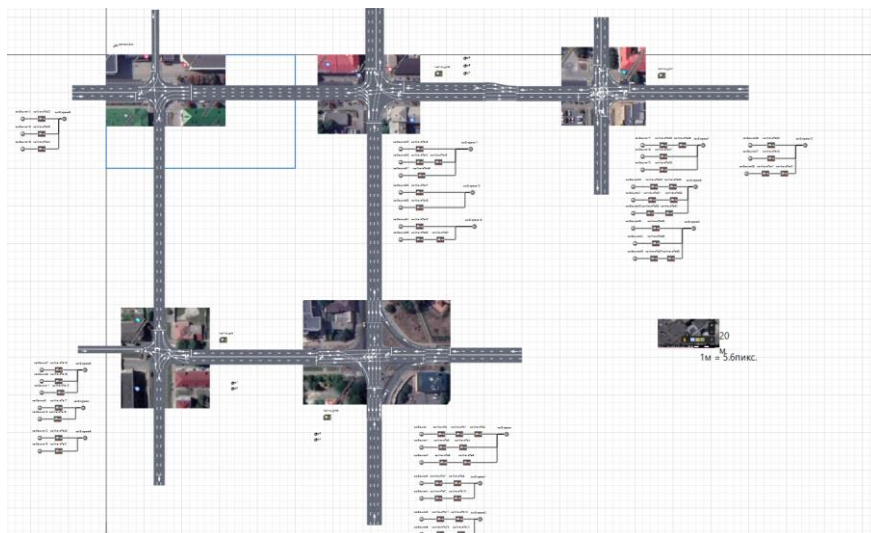


Рис. 2 – Модель из программы AnyLogic

После запуска программы, получили график времени проезда перекрестков и количества машин за 1 час модельного времени (см. рисунок 3).

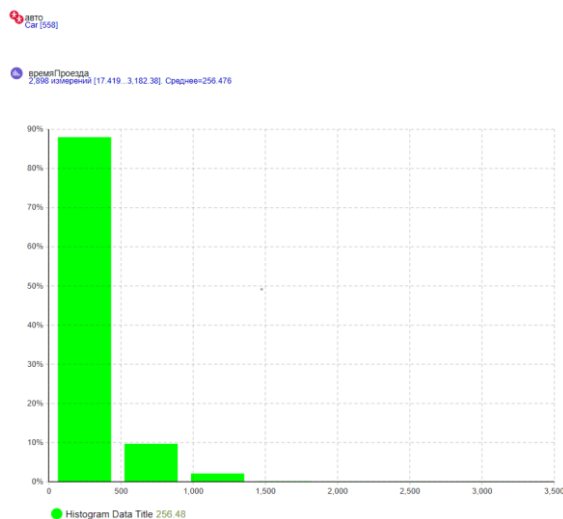


Рис. 3 – Результат моделирования текущей системы светофоров

Согласно полученному графику сделали вывод, что за 1 час проедет 558 транспортных средств по всем направлениям 5-и перекрестков и среднее время проезда ровно 256 секунд, что достигает почти 9 баллов «пробок» машин из 10 возможных.

Произвели настройки фаз светофоров с помощью их оптимизации в прикладной программе AnyLogic («Эксперимент» - «Оптимизация»). Ввели необходимые данные для последующей симуляции оптимизации. Установили минимальное и максимальное значение каждой фазы светофоров, а также шаг; задали текущее «реальное» значение режимов работы (см. рисунок 4).

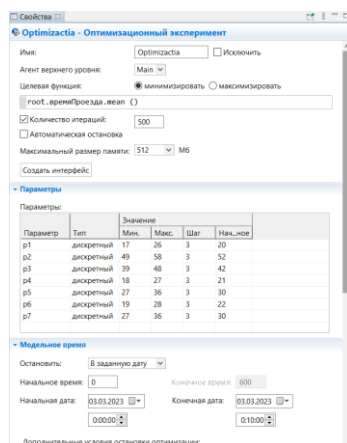


Рис. 4 – Оптимизационный эксперимент текущих значений

Провели серию оптимизационных экспериментов, в результате которой получили исходные данные для каждого светофора, которые представлены в таблице 2. В качестве параметров для проведения симуляции модели выбрали средние значения.

Таблица 2 – Параметры

Параметр	№1	№2	№3	Среднее значение
1	17	14	18	16
2	49	60	62	57
3	39	34	50	41
4	18	23	17	19
5	36	44	36	39
6	22	18	24	21
7	27	28	32	29

Полученные данные будут реализовываться в дальнейшей работе по настройке светофорного регулирования рассматриваемых перекрестков, используя оптимизационные алгоритмы, описанные в литературе [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.Г. Ногова К вопросу о современном состоянии автоматизации управления дорожным движением. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.asud.narod.ru>.
2. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов. М.Ж ИКЦ «Академкнига», 20054.-279с
3. Андронов С.А. Разработка и исследование имитационной модели светофорного регулирования на основе нечеткой логики в среде AnyLogic // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2015): тр. VII Всерос. науч.-практич. конф. М.: Изд-во ИПУ РАН, 2015. Т. 2. С. 443–449
4. Система имитационного моделирования AnyLogic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:<http://www.xjtek.ru/anylogic>

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ГЕНДЕРНЫХ РАЗЛИЧИЙ СРЕДИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ВУЗЕ

Медведева В.С., Кузнецова Е.В.

*ФГБОУ ВО «Липецкий технический государственный университет»
398055, Россия, Липецкая область, г. Липецк, ул. Московская, д. 30*

***Аннотация.** Образование является основополагающим фактором в становлении ребёнка как личности, поэтому данное исследование поможет ответить на вопрос: существуют ли различия между студентами женского и мужского пола и насколько они влияют на их мотивацию к обучению.*

Ключевые слова: гендерные различия; психологический опрос; учебная мотивация; классификация; машинное обучение.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN THE STUDY OF GENDER DIFFERENCES AMONG UNIVERSITY STUDENTS

Medvedeva V.S., Kuznetsova E.V.

*Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk
medvedka4121@gmail.com, 8(950)721-32-77*

***Abstract.** Education is a fundamental factor in the formation of a child as a person, so this study will help to answer the question: whether there are differences between female and male students and to what extent they affect their motivation to learn.*

Keywords: gender differences; psychological survey; learning motivation; classification; machine learning.

Исследование гендерных различий широко освещается как в международных, так и в отечественных СМИ. Люди активно противостоят с давно устоявшимися стереотипами и стремятся к справедливости или даже к равенству между полами.

Несмотря на уравнительную тенденцию, женщины и мужчины всё же имеют физиологические, психологические и интеллектуальные отличия по своей природе, которые неотделимы от их личности. Они могут как положительно влиять на человека в той или иной ситуации, так и препятствовать получению желаемого результата.

Сфера образования также столкнулась с гендерной повесткой. Исследователи начали задаваться вопросом: нужно ли подстраивать образовательный процесс под половые особенности и помогут ли эти изменения в дальнейшей жизни [1-2]. Так как образование формирует обычного школьника в будущего специалиста, рассмотрим отношение студентов женского и мужского пола на обучение в ВУЗе.

Задача данного исследования заключается не в уравнивании особенностей женского и мужского пола, а в наблюдении за их поведенческими отличиями в одинаковых условиях. Данное исследование поможет определить поведенческое восприятие разных полов образовательного процесса, выявить проблемные области, преимущественные только для определённого пола, и рассчитать меру влияния выявленных проблем на мотивацию к обучению.

Для исследования различий стремления к обучению между студентами женского и мужского пола был составлен опрос из 2 частей: первая собирала информацию о возрасте, поле, наименовании ВУЗа, наименовании специальности и курсе респондента; вторая состояла из 52 возможных неприятностей, с которыми студент в той или иной мере сталкивался или сталкивается в данный момент в процессе обучения.

Каждый исследуемый фактор (вопрос из второй части анкеты) был сформулирован на основе выделенных в работах по педагогике и психологии шкал [3-4]. Используемые в данном исследовании шкалы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Наименование шкал, на основе которых были сформулированы вопросы из второй части анкеты

№	Наименование шкалы
1	Проблемы в организации работы учебного заведения
2	Проблемы в учебном процессе
3	Проблемы выбора профессии
4	Внутренние переживания студента
5	Проблемы учебной мотивации

Респондентам во второй части анкеты предлагалось оценить уровень своей обеспокоенности указанной проблемой значением от 0 до 10, где оценка 0 означала, что студента совсем не беспокоит данная проблема, 10 – студент сильно обеспокоен ею.

На текущий момент анкетирование прошли 106 студентов из высших учебных заведений Липецка, Воронежа, Москвы, Невинномысска и Челябинска. Студенты женского пола занимают 68% от общей выборки (72 человека), мужского – 32% (34 человека).

Собранные для исследования данные обрабатывались с помощью методов машинного обучения, реализованных на языке программирования Python 3 в среде разработки Google

Данные были поделены на две выборки: где на вопросы отвечали девушки и где отвечали парни. Далее каждая выборка обрабатывалась отдельно двумя методами кластеризации: методом k-means и методом смеси Гауссовых распределений (GMM). На вход каждого метода будет поступать транспонированная таблица данных для того, чтобы метод делил на группы именно вопросы из второй части анкеты, а не студентов.

Суть нашего исследования будет состоять в сравнении результатов деления от 2 до 5 кластеров каждой выборки. Если результаты деления вопросов из первой и второй выборки не будут отличаться, то будем считать, что гендерных различий в учебной мотивации не было обнаружено. Показателем покрытия двух выборок будем считать отношение количества совпадений деления вопросов (если данный вопрос из первой выборки окажется в той же группе, что и вопрос из второй выборки) с общим количеством вопросом.

Обучим каждую выборку методом k-means. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация методом k-means

Количество кластеров	Количество совпадений	Количество несостыковок	Доля покрытия
2	50	2	0.961538
3	48	4	0.923077
4	37	15	0.711538
5	24	28	0.461538

В результате классификации факторов (вопросов второй части анкеты) методом k-means было выявлено, что при делении от 2 до 4 кластеров, схожесть между студентами женского и мужского пола варьируется от 71 до 96%. При повторном обучении данной модели результаты остаются на таком же уровне, что говорит о стабильности полученных результатов.

В большинстве случаев, девушки и парни испытывают одни и те же эмоции, сталкиваясь с той или иной проблемой во время обучения.

При проверке расхождений при классификации факторов были выявлены проблемы, описывающие недовольство в организации и проведении теоретических и практических занятий, недовольство выбранной профессией или разочарованность в выбранной отрасли, нежелание учиться или отсутствие учебной мотивации. Какие-то факторы вызывают большее недовольство у девушек, а какие-то у парней (значения математического ожидания и

среднеквадратичного отклонения для каждого факторы при сравнении двух выборок отличаются). В таком случае, при делении на 2 кластера 3.85% факторов не входят в одну и ту же группу, на 3 кластера – 7.69%, на 4 кластера – 28.85%, на 5 кластеров – 53.85%.

Обучим каждую выборку методом GMM. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Классификация методом GMM

Количество кластеров	Количество совпадений	Количество несостыковок	Доля покрытия
2	50	2	0.961538
3	32	20	0.615385
4	30	22	0.576923
5	31	21	0.596154

В результате классификации методом GMM было выявлено, что при делении от 2 до 3 кластеров, схожесть между студентами женского и мужского пола варьируется от 62 до 96%.

Данный метод также показывает схожесть между ответами девушек и парней. При проверке вхождений одних и тех же вопросов в разные смысловые группы (при классификации отдельных выборок девушек и парней) выявились те же вопросы, что и в методе k-means.

При делении на 2 кластера 3.85% факторов не попадают в одну и ту же группу, на 3 кластера – 38.46%, на 4 кластера – 42.31%, на 5 кластеров – 40.38%.

Хотя мнение студентов женского и мужского пола местами разнятся, общая картина говорит о другом. Значимых гендерных различий в студенческой мотивации не было обнаружено, а значит перестраивать учебный план под особенности обоих полов не требуется.

Исследование, проведённое в нашей работе «Регрессионный анализ мотивации студентов к обучению», привело к похожим результатам [5]. В результате регрессионного анализа было выявлено, что фактор «Пол» является незначимым, поэтому не оказывает значимого влияния на результат регрессионной модели. Таким образом, результат данного исследования не противоречит полученным выводам в предыдущей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ламзина Ю. А. Учет гендерных различий в процессе обучения в отечественной и зарубежной педагогике // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2012. Т. 74. № 10. С. 84-87.

2. Столярчук Л. И. Гендерный подход в условиях непрерывного образования // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2012. Т. 68. № 4. С.
3. Пиньковская Б. С. Актуальные проблемы обучающихся в вузе // Вестник РМАТ. 2015. № 2. С. 112-118.
4. Малошенок Н. Г., Семенова Т. В., Терентьев Е. А. Учебная мотивация студентов российских вузов: возможности теоретического осмысления // Вопросы образования. 2015. № 3. С. 92-121.
5. Медведева В. С., Кузнецова Е. В. Регрессионный анализ мотивации студентов к обучению // XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета. 2022. С. 78-84.

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «BEE MONITOR»

Медведева О.Е.¹, Лазькова Г.М.¹, Назаров Д.Е.²

¹ ОГАПОУ «Старооскольский индустриально-технологический техникум», г. Старый Оскол

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
yuo@rambler.ru, gluk4@yandex.ru, nazarov2002.nazarov@yandex.ru

Аннотация. В данной работе обзревается разработка мобильного приложения, позволяющего производить контроль работы пчелы.

Ключевые слова: Мобильное приложение; web-приложение; пчеловоды; ульи.

DEVELOPMENT OF THE MOBILE APPLICATION «BEE MONITOR»

Medvedeva O.E.¹, Lazkova G.M.¹, Nazarov D.E.²

¹ OGAPOU "Starooskolsky industrial and Technological College", Stary Oskol

² Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. This paper reviews the development of a mobile application that allows you to monitor the operation of the apiary.

Keywords: Mobile application; web application; beekeepers; beehives.

В современную эпоху полномасштабной цифровизации, для человека очень важно оперативно получать важную для него информацию и так же оперативно на неё реагировать. Благодаря стремительному развитию интернета и совершенствованию мобильных технологий сегодня мы пришли к тому, что 64% всех живущих на планете людей являются активными пользователями всемирной паутины, а 68% имеют мобильное устройство. Именно поэтому огромной актуальностью пользуется такая услуга, как разработка мобильных приложений под Android.

Процедура запуска любого IT-приложения требует предварительного планирования и верного принятия решений на начальных стадиях его разработки. Для заказчика проект должен быть результативным, и чтобы добиться его эффективности, разработчику

понадобится подходить к выполнению задачи комплексно, обращая внимание на множество важных критериев.

Ключевое условие грамотного решения проблемы – не ошибиться в выборе стека технологий. Выбирая стек, необходимо учитывать шесть ключевых аспектов:

- специфику самого IT-проекта;
- опыт и ресурсный потенциал;
- масштабируемость приложения;
- уровень безопасности;
- удобство обслуживания web-приложений;
- сроки разработки.

Проанализировав стоящую перед нами задачу, было принято решение использовать для разработки приложения следующий стек технологий: React Native (Фронтенд-разработка), Axios.js (Серверная часть приложения, подключение к БД).

Разрабатываемое нами приложение позволяет удалённо осуществлять мониторинг за показаниями датчиков внутри улья (температура, влажность), отслеживать опрокидывание улья, определять погодные условия вокруг улья. Главная экранная форма содержит в себе три активных элемента: кнопку перехода к списку ульев, кнопку открытия журнала пчеловода и кнопку для перехода в меню помощи.

Принцип действия нашего приложения представлена на рисунке 1.

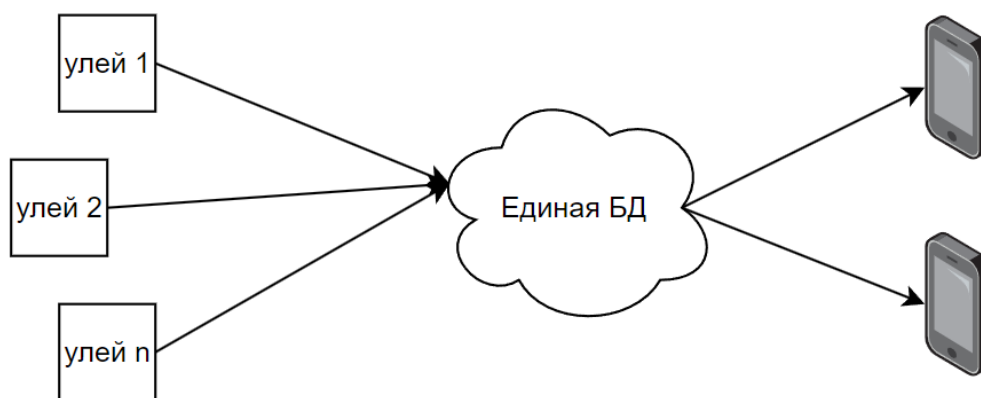


Рис. 1 – Логика работы приложения

Алгоритм работы выглядит следующим образом:

1. Имеется пасека с большим количеством ульев, на которых расположены различные датчики;

2. Данные с этих датчиков передаются в единую БД;
3. Данные из БД передаются в приложение пользователя, которое их адаптирует в удобный для пользователя вид.

Само приложение имеет дружелюбный человеко-машинный интерфейс. При выборе конкретного улья пользователь попадает на экранную форму, где его встречают поля с текущими значениями датчиков и различные кнопки управления. Поле вывода значения датчика изменяет свой цвет если наблюдаемый параметр вышел за допустимые значения.

Кнопка с инструкцией, позволяет просмотреть описание каждого датчика. Две кнопки «Показать ульи» и «Журнал пчеловода» ведут пользователя на другие экраны. Первая кнопка выведет список всех ульев, которые есть в базе, а вторая дает возможность записать все события, произошедшие с пасекой и ульями. Также есть кнопка «Настройки», в которой можно самому выставить критические значение для датчиков, так, как например в зависимости от региона допустимые границы температуры могут изменяться. Также в окне журнала присутствуют фильтры, по которым можно посмотреть, что происходило с ульем в интересующий пользователя календарный срок.

Разрабатываемое приложение сможет помочь огромному числу пчеловодов по всему миру. Устройства, способные управлять пасекой на расстоянии, уже не являются чем-то из области фантастики, а способны повысить эффективность контроля за ее состоянием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева О. Разработка структуры мобильного приложения для мониторинга пчел. Мобильные технологии и информационные системы, 7(3), 89-104. 2020г.
2. Ибрагимова К.Е., Оспанова С.И. Мобильные приложения: преимущества и недостатки. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:<https://scienceforum.ru/2018/article/2018009518>(дата обращения 20.04.2023)
3. Иванова А. Анализ рынка мобильных приложений в России. Экономический журнал, 25(2), 78-90. г2020г.
4. Научные статьи / [Электронный ресурс]. - <https://bank.nauchniestati.ru/primery/diplomnaya-rabota-na-temu-sozdanie-mobilnogo-prilozheniya-dlya-optimizaczii-i-kontrolya-raboty-torgovyh-agentov-kompanij-imwp/?ysclid=lfqihkf4gj268278284>

К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Моторина Н.П.¹, Тетеревлёва Е.В.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

² Ухтинский государственный технический университет, Ухта
motorina.np@MISIS.ru, eteterevleva@ugtu.net

Аннотация. Рассмотрены синхронные электроприводы компрессоров. Приведены положительные характеристики синхронных электроприводов. Отмечены положительные качества регулируемых синхронных электроприводов. Описаны законы регулирования синхронных ЭП, применение быстродействующих возбуждателей с автоматическим регулированием возбуждения.

Ключевые слова: электрический привод; синхронный двигатель; управление электроприводами компрессоров; автоматическое регулирование возбуждения.

ON THE QUESTION ABOUT ELECTRIC DRIVES OF COMPRESSOR UNITS

Motorina N.P.¹, Teterevleva E.V.²

¹ Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

² Ukhta State Technical University, Ukhta
motorina.np@MISIS.ru, eteterevleva@ugtu.net

Abstract. Synchronous electric drives of compressors are considered. The positive characteristics of synchronous electric drives are given. The positive qualities of adjustable synchronous electric drives are noted. The laws of regulation of synchronous electric drives and the use of high-speed exciters with automatic excitation control are described.

Keywords: electric drive; synchronous motor; control of electric drives of compressors; automatic excitation control.

Дальнейшее развитие энергетики и рост энергопотребления нашей цивилизации требует проведения целенаправленной энергосберегающей политики. Поэтому одной из самых актуальных задач XXI века стало энерго- и ресурсосбережение, как основной способ

добиться достойного места среди развитых экономик мира. Потребление электроэнергии в большей части приходится на электроприводы (ЭП) производственных механизмов и технологических установок. Среди турбоустановок различного назначения преобладают центробежные вентиляторы, насосы, компрессоры промышленных предприятий, компрессорных и водонасосных станций, магистральных газо- и нефтепроводов. Они же составляют существенную долю механизмов металлургических и горнодобывающих предприятий.

Значимые результаты применения популярных в последнее время частотно-регулируемых ЭП со стандартным асинхронным двигателем (АД) наблюдаются в областях применения технологических систем тепло-, воздухо-, водоснабжения. Экономический эффект обусловлен энергосбережением ЭП и ресурсосбережением технологии, в которой устанавливается такой ЭП. Дополнительными преимуществами являются: уменьшение износа технологического оборудования, снижение потерь получаемой продукции [5].

Электроприводы компрессорных установок часто рассматривают как синхронные (особенно средних и больших мощностей). При появлении современных преобразователей частоты (ПЧ) появилась возможность переводить синхронные ЭП в разряд регулируемых с рациональным использованием ресурсов и снижением энергозатрат [1, 4].

Характеристики компрессорных установок выбираются под совместную работу компрессоров и сети, на которую они работают. Сети характеризуются давлением, приложенным в начале сети для перемещения по ней определенного количества воздуха, природного газа и других веществ. Такое давление складывается из статического, идущего на преодоление противодействия в воздухохранилище (газохранилище), и динамического давления, необходимого для преодоления гидросопротивления сети. На рисунке 1 приведено устройство типовой компрессорной станции

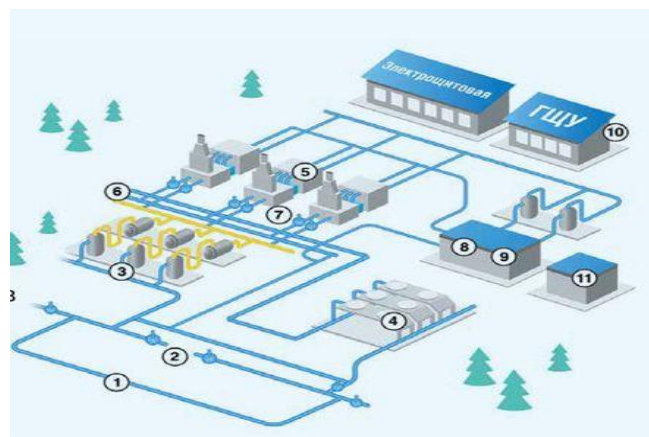


Рис. 1 – Устройство типовой компрессорной станции

Компрессорный цех станции газопровода состоит из газоперекачивающих агрегатов (ГПА), установленных в общем (индивидуальных) зданиях (укрытиях), систем и сооружений, обеспечивающих его функционирование. В том числе установлены приводы, электрооборудование, САУ цеха. В зависимости от типа привода на компрессорных станциях могут использоваться газотурбинные, электроприводные или поршневые газоперекачивающие агрегаты [2].

Рассмотрим технологическую схему системы воздухоприготовления компрессорной станции подстанции 330 кВ (рис.2). Установки для получения и распределения сжатого воздуха состоят из следующих элементов:

- компрессоров с электрическим приводом и автоматической системой управления пуском и остановкой;
- воздушных всасывающих фильтров для очистки воздуха, засасываемого первой ступенью компрессора из атмосферы;
- змеевиковых охладителей с водомаслоотделителями и продувочными клапанами после каждой ступени компрессора;
- воздухохранилищ (ресиверов) — сосудов для накопления сжатого воздуха и редукторных клапанов, устанавливаемых на выходе воздуха из воздухохранилищ в распределительную сеть;
- воздухопроводов, арматуры, приборов и вспомогательных устройств, необходимых для нормальной эксплуатации воздухораспределительной сети.

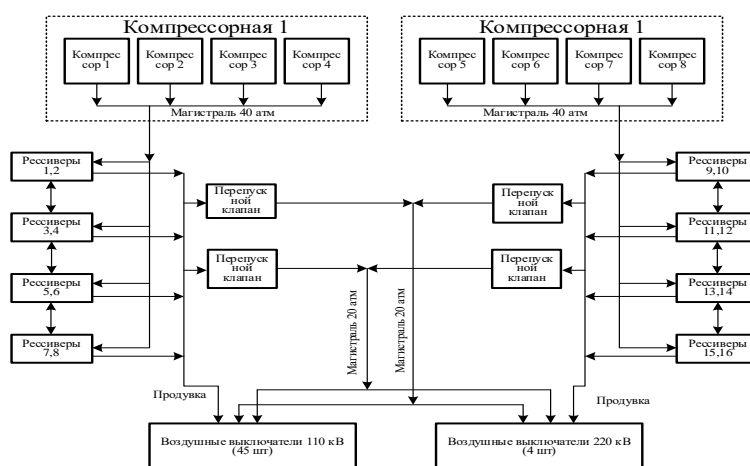


Рис. 2 – Технологическая схема системы воздухоприготовления компрессорной станции

Расширяется область применения регулируемых электроприводов принципиально новых рабочих механизмов, машин, которые работали без регулирования скорости (других параметров). Одновременно возрастают требования к регулируемым электроприводам по

единичной мощности, качеству регулирования, энергетическим показателям, перегрузочной способности. Это можно объяснить следующими причинами: рост производительности и мощности технологического оборудования, повышение требований по качеству продукции, упрощение механического оборудования и передача некоторых функций ЭП [5].

Электрические машины переменного тока распределены по целесообразности практического применения по мощности и СД занимают линейку средней и большой мощности с небольшим диапазоном регулирования скорости. Практический опыт применения СД показал ряд неоспоримых преимуществ его перед АД [2]. Регулируемые синхронные электроприводы имеют дополнительные преимущества: возможность выполнять быстроходные и тихоходные приводы практически на основе одной структуры (ПЧ с естественной коммутацией); повышенная управляемость; применение в условиях большой мощности и частоты вращения (при малых диапазонах регулирования) [3].

Быстроходные электроприводы компрессоров дают возможность наиболее экономично регулировать производительность при изменениях технологических требований без применения повышающих редукторов (повышение надежности системы). Переход в подобных ЭП дает значительный эффект по конструкции и технологической схеме. Работа компрессоров в группах позволяет регулировать реактивную мощность в сети электроснабжения по каналу возбуждения [1, 3].

Системы управления синхронных ЭП должны обеспечивать устойчивую работу электропривода и, с другой стороны, стабилизировать параметры питающей сети электроснабжения. Отклонение параметров питающего напряжения от оптимальных (номинальных) снижает технико-экономические показатели системы. Синхронные двигатели (а также генераторы и компенсаторы) могут быть использованы как генераторы реактивной мощности для повышения коэффициента мощности получаемой энергии и снижения потерь мощности [3].

Это требование позволило применить быстродействующие возбудители с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ) в синхронных электроприводах. Устройства АРВ создают разные законы регулирования параметров для установившихся или переходных процессов в сети и самого синхронного ЭП. Возможности таких ЭП поддерживать качество электроэнергии определило применение СД в АРВ. Для динамических процессов АРВ обеспечивает качество регулирования, определяет мгновенные значения регулируемых параметров в переходных процессах для обеспечения точности стабилизации регулируемых параметров и надежности работы. Резкопеременные нагрузки вызывают в электроприводах качания ротора при набросах и сбросе нагрузки, которые могут быть демпфированы за счет

АРВ. Тем самым повышается динамическая устойчивость ЭП и высокое быстродействие АРВ [4].

Для компрессоров большой мощности с плавно изменяющейся нагрузкой подходит закон управления $\cos\varphi_n = \text{const}$ при незначительных колебаниях напряжения питающей сети. В установившихся режимах АРВ обеспечивает следующие законы регулирования: постоянство $\cos\varphi$ двигателя ($\cos\varphi = \text{const}$); постоянство реактивной мощности, вырабатываемой СД ($Q = \text{const}$); постоянство напряжения в узле нагрузки (в системе питания $U_n = \text{const}$); постоянство $\cos\varphi_n$ в узле нагрузки (в системе питания $\cos\varphi_n = \text{const}$).

Современные синхронные ЭП с регулирование скорости имеют общие принципы действия, состав, взаимосвязь основных частей. По описанию функциональной схемы синхронного электропривода можно отметить: обмотка якоря двигателя питается от полупроводникового ПЧ, обмотка возбуждения – от полупроводникового возбудителя, управление ПЧ и возбудителем осуществляет устройство автоматического регулирования, в которое вводится задание скорости ЭП от вышестоящей системы управления скоростными режимами технологического агрегата [2]. В устройство регулирования поступает информация о положении ротора, механически соединенного с двигателем, а также об электрическом состоянии двигателя от датчиков тока якоря и возбуждения (или других датчиков) [4].

Таким образом, рассмотрены синхронные электроприводы турбоустановок и компрессоров. Приведены положительные характеристики синхронных электроприводов компрессоров. Отмечены уникальные возможности регулируемых синхронных электроприводов обеспечивать устойчивую работу электропривода и стабилизировать параметры питающей сети электроснабжения. Описаны законы регулирования синхронных ЭП и требования применить в них быстродействующие возбудители с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туркин, М.А.. Энергосберегающий синхронный электропривод при вентиляторной нагрузке [Текст] /М.А. Туркин // Материалы докладов V Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсосбережение и экологическая безопасность». – Смоленск, 2006.–с.31-34.

2. Компрессорная станция магистральных газопроводов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.turbunist.ru/31606-kompressornaya-stanciya.html> (дата обращения 9.12.2023).

3. Вейнгер, А.М. Регулируемый синхронный электропривод [Текст] / А.М. Вейнгер // М.: Энергоатомиздат, 1985.–224с.

4. Беляев, А.Н. Проектирование адаптивных автоматических регуляторов возбуждения с помощью нейронечеткого моделирования [Текст] / А.Н. Беляев, С.В. Смоловик // Электричество, 2003. № 3.–с.2-9.

5. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для студ.высш. учеб. заведений / [М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др.] ; под ред В.А. Новикова, Л.М. Чернигова.– М.: Издательский дом «Академия», 2006.–368с.

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПОМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Назаров Д.Е., Мельникова К.Э., Полещенко Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
nazarov2002.nazarov@yandex.ru, kristoff91@mail.ru, po-dima@yandex.ru*

***Аннотация.** В данной статье исследовался способ определения геометрии помещений с помощью эхолокации, а именно - звуколокации. В работе использовались свёрточные нейронные сети, которые обучались на большом наборе данных, состоящем из 48000 импульсных характеристик и ряда параметров, для геометрии помещения, им соответствующих. Обученная свёрточная нейронная сеть тестировалась на записанной импульсной характеристике реального помещения и показала точность в оценке по различным параметрам размера помещения от 92,2% до 98,7%.*

Ключевые слова: свёрточные нейронные сети; геометрия помещения; эхолокация; импульсная характеристика; робототехника; распознавание; бесконтактные методы измерения объектов; звуколокация; предсказание геометрии; виртуальная реальность.

APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO DETERMINE THE GEOMETRY OF A ROOM BY IMPULSE RESPONSE

Nazarov D.E., Melnikova K.E., Poleshenko D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This article explored a method for determining the geometry of rooms using echolocation, namely soundlocation. The work used convolutional neural networks, which were trained on a large data set consisting of 48,000 impulse responses and a number of parameters for the geometry of the room corresponding to them. The trained convolutional neural network was tested on the recorded impulse response of a real room and showed accuracy in estimating various room size parameters from 92.2% to 98.7%.*

Keywords: convolutional neural networks; room geometry; echolocation; impulse response; robotics; recognition; contactless methods of measuring objects; sonar; geometry prediction; virtual reality.

Научить какой-либо объект определять геометрию помещения, а после идентифицировать себя в нём, это задача, которую ставят перед собой многие разработчики роботизированных устройств [1]. Существующие методы определения геометрии замкнутого пространства с помощью эхолокации подразумевают наличие в помещении большого количества дополнительного оборудования. Описанный нами метод не подразумевает наличие каких-либо априорных знаний об окружающем нас пространстве. В работе для создания и съёма реальных импульсных характеристик использовался один источник и один приемник звука [2].

Для предсказания геометрии помещения использовалась свёрточная нейронная сеть, которая обучалась на искусственно созданных импульсных характеристиках.

Генерация импульсных характеристик производилась в пакете программ MatLab. За основу был взят метод, описанный в работе [3].

В процессе работы алгоритма по имитации импульсных характеристик было сгенерировано 3000 помещений со случайными размерами в следующих пределах: длина от 6 до 10 метров, ширина от 5 до 8 метров, высота от 4 до 6 метров. Полученные 48 000 импульсных характеристик, длительностью 0,256 секунды, сохранились в цифровом аудиоформате WAV [4].

Полученные импульсные характеристики подавались на свёрточную нейронную сеть со следующей структурой: Входной слой для модели с ожидаемой формой данных. Затем следует 6 слоев свертки - Conv1D с последующей нормализацией (BatchNormalization) и функцией активацией 'relu'. Эти слои применяются последовательно друг за другом. Количество выходных фильтров в слоях Conv1D: 10,20,40,80,160,160, ядро свёртки и шаг свёртки всегда имеют значение - 4. Далее идут "сглаживающий" слой Flatten, Dropout слой с 50% исключением нейронов и последний скрытый слой Dense с 40 нейронами. На выходе стоит слой Dense с функцией активации 'sigmoid' [5,6].

Сеть обучалась со следующими параметрами обучения: batch_size=150, epochs=30, обучающая и тестовая выборка составили 38400 и 9600 импульсных характеристик, соответственно.

В ходе исследования было обучено 5 нейронных сетей одинаковой структуры. Самая удачная из моделей может предсказывать размеры помещений с точностью вплоть до 2 мм. После получения положительных результатов на искусственно созданных импульсных

характеристиках была выполнена проверка работоспособности описанного метода в реальных условиях.

Для проведения эксперимента было выбрано помещение с размерами: длина – 14.44 м., ширина – 5.78 м., высота – 2.77 м. В качестве приёмника звука использовался микрофон FIFINE K669, в качестве источника звука для получения импульсной характеристики выступал щелчок пальцев. В результате была получена модель с точностью предсказаний на тестовой выборке до 1.2 см. Тренды для сгенерированной и реальной импульсной характеристики, представлены на рис. 1.

С целью тестирования полученной модели на реальных данных на нейронную сеть была подана реальная импульсная характеристика и были получены следующие результаты в формате - длина, ширина, высота в метрах: [15.8496 9.9983 4.9987].

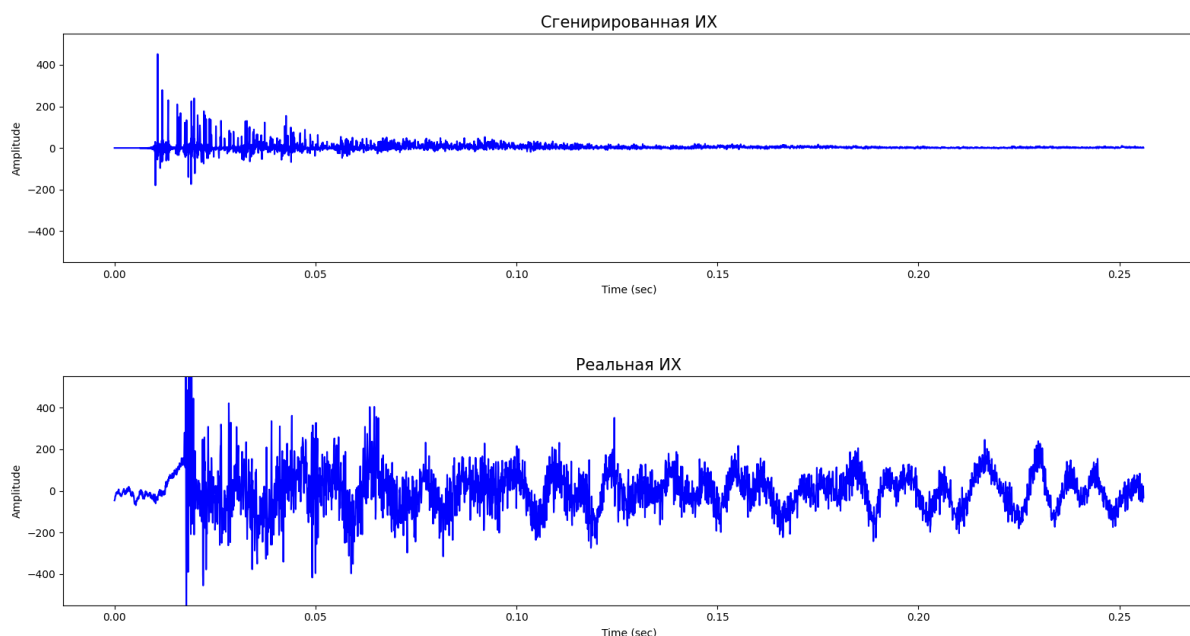


Рис. 1 – Сравнение импульсных характеристик

Обученная модель абсолютно не справилась с поставленной задачей. Предсказывая значения ширины и высоты комнаты, она выдавала предельно возможные значения по этим параметрам, которые при этом были максимально далеки от реальных значений.

Основной причиной подобного результата стало то, что на реальной импульсной характеристике присутствуют посторонние шумы, которые не позволили получить на модели точные результаты. Попытка удалить шумы программами для очистки звука привела к искажению структуры импульсной характеристики и было принято решение наложить шум на все сгенерированные характеристики [7].

Для этого был записан белый (стационарный) шум в том же помещении, где снимались реальные импульсные характеристики, а после случайная часть из звуковой дорожки этого шума накладывалась на нашу характеристику.

После обучения на зашумленных импульсных характеристиках на полученную нейронную сеть была вновь подана реальная импульсная характеристика и были получены следующие результаты в формате - длина, ширина, высота в метрах: [14.6292 5.3534 2.9869]. Относительное отклонение по длине составило – 1,31 %, по ширине 7,38%, по высоте – 7,83 %.

Перспективы дальнейшего исследования данной темы мы видим в повышении точности модели для предсказания размера помещения. Для этого планируется исследовать более широкий спектр структур и типов нейронных сетей и улучшить алгоритмы наложения шумов на сгенерированные импульсные характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чачхиани Т.И., Серова М.Г. Мобильный робот в нестационарной среде //Инженерный вестник Дона. 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4546.
2. Rajapaksha T., Qiu X., Cheng E., Burnett I. Geometrical room geometry estimation from room impulse responses. 2016, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 331–335.
3. Allen J. B., Berkley D. A. Image method for efficiently simulating small-room acoustics. 1979, J. Acoust. Soc. Am., vol. 65, no. 4, pp. 943–950.
4. Erlangen I. A. L. RIR generator. 2014. URL: audiolabs-erlangen.de/fau/professor/habets/software/rir-generat.
5. Пучков Е.В. Сравнительный анализ алгоритмов обучения искусственной нейронной сети //Инженерный вестник Дона. 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4546.
6. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. 2012, Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems. URL: image-net.org/static_files/files/supervision.
7. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. 2014, CoRR, vol. abs/1409.1556. URL: arxiv.org/abs/1409.1556.

АНАЛИЗ ПОХОДКИ. ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

Небольсин В.Д., Халапян С.Ю.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
nebolinsvasili@gmail.com, khalapyan@ya.ru

Аннотация. В работе представлен обзор методов, используемых для распознавания и анализа походки человека, с использованием различных подходов. Прогресс новых технологий привел к разработке ряда устройств и методик, позволяющих проводить объективную оценку, повышать эффективность и результативность измерений и обеспечивать специалистов достоверной информацией. Исследования показывают, что точность, удобство использования и непрерывность мониторинга, присущие портативным системам на основе датчиков тела, делают их многообещающими методами анализа походки.

Ключевые слова: нормальная походка; протокол оценки подвижности; IMU датчики; акселерометрия.

GAIT ANALYSIS. OVERVIEW OF DIAGNOSTIC METHODS AND TOOLS

Nebolsin V.D., Khalapyan S.Y.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
nebolinsvasili@gmail.com, khalapyan@ya.ru

Abstract. The paper provides an overview of the methods used to recognize and analyze human gait using various approaches. The progress of new technologies has led to the development of several devices and techniques that allow for objective assessment, improve the efficiency and productivity of measurements, and provide specialists with reliable information. Research shows that the accuracy, ease of use and continuity of monitoring inherent in portable body sensor-based systems make them promising gait analysis methods.

Keywords: normal gait; mobility assessment protocol; IMU sensors; accelerometry.

Современная клиническая диагностика – высокотехнологичная отрасль медицины, основной задачей которой является установление диагноза, заключения о состоянии пациента

и сущности его заболевания. Походка в этом смысле является полезным показателем общего состояния здоровья человека, поэтому измерение её характеристик становится надежным методом определения многих аспектов здоровья [1]. Нарушения походки обычно связаны с заболеваниями опорно-двигательной системы, а также старением организма, часто приводящими к снижению качества жизни. Обнаружение нарушений походки является важным инструментом диагностики различных заболеваний, оценки восстановления моторики при реабилитации, распознавания активности и выносливости человека в спортивной медицине. Это привело к появлению спроса на портативные устройства измерения, которые могут быть использованы в клинических исследованиях для простой и эффективной автоматизированной оценки походки в самых разных условиях с минимальными затратами.

Что такое походка

Ходьба — это движение вперед с выпрямленным туловищем при помощи перемещения нижних конечностей. Перемещение любого физического тела требует затрат энергии, которые зависят от веса перемещаемого тела и величины смещения его центра тяжести вдоль осей X (переднезадней), Y (горизонтальной) и Z (вертикальной) относительно исходной точки.

Нормальная походка — это эффективное движение тела вперед, во время которого центр его тяжести описывает синусоидальную кривую с минимальной амплитудой по осям Y и Z. Увеличение смещения центра тяжести тела от траектории этого эффективного движения требует повышенной затраты энергии [2].

Походка представляет собой циклический процесс, требующий повторяющегося перемещения нижних конечностей. Цикл походки делится на две фазы: опора и перенос (рис. 1). Фаза опоры занимает 60% времени от полного цикла и подразделяется на пять периодов: удар пяткой; опора на стопу (плоская стопа); середина фазы опоры; отрыв пятки; отрыв пальцев. Оставшиеся 40% приходятся на фазу переноса, в которой выделяется три периода: начало фазы переноса (ускорение); середина фазы переноса; завершение фазы переноса (торможение, замедление).

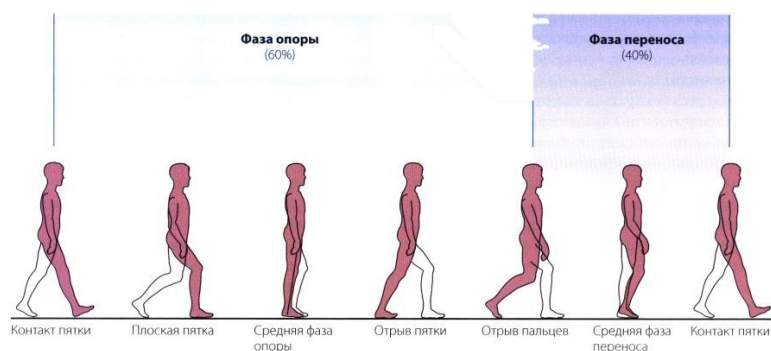


Рис. 1 – Цикл походки: фаза опоры и фаза переноса.

Аппаратное обеспечение и методы анализа активности

Устройства и методы измерений, используемые для изучения походки человека, можно классифицировать следующим образом:

- на основе не носимых датчиков (NWS), которые требуют использования контролируемых исследовательских центров, где расположены датчики и собирают данные о походке, пока субъект идет по четко обозначенному проходу;

- на основе носимых датчиков (WS), которые позволяют анализировать данные вне лаборатории и собирать информацию о походке человека во время его повседневной деятельности;

- гибридные системы с использованием комбинации перечисленных методов.

Системы NWS можно разделить на две подгруппы: основанные на обработке изображений (IP) и на основе напольных датчиков (FS).

IP-системы собирают данные о походке субъекта с помощью одного или нескольких оптических датчиков и проводят объективные измерения различных параметров посредством цифровой обработки изображений. Аналоговые или цифровые камеры являются наиболее часто используемыми устройствами. Также используются другие типы оптических датчиков, такие как лазерные сканеры дальности (LRS), инфракрасные датчики, времяпролетные камеры (ToF), и системы инфракрасной термографии (ITG) [3].

В FS системах датчики размещаются вдоль пола на так называемых «силовых платформах» или оборудованных проходах, где походка измеряется датчиками давления или силы и датчиками момента, когда человек ходит по ним. Преимуществом систем на основе FS является определение возникающей при ходьбе силы реакции опоры (GRF).

Важнейшим недостатком описанных методов является их непригодность для длительного непрерывного анализа. В таких условиях носимые IMU датчики становятся предпочтительным выбором в качестве непрерывного, незаметного и надежного метода обнаружения и мониторинга движений человека.

Системы WS. IMU датчики

В системах WS используются датчики, расположенные на нескольких частях тела, например, на ступнях, коленях, бедрах или талии. Для улавливания различных сигналов, характеризующих походку человека, используются различные типы датчиков. К ним относятся акселерометры, гироскопические датчики, магнитометры, электромиография и др.

Акселерометры — это устройства, измеряющие приложенное ускорение, действующее вдоль чувствительной оси, которое можно использовать для измерения скорости и интенсивности движений тела в трех плоскостях (фронтальной, медиолатеральной и

вертикальной) [4]. Акселерометры также можно использовать для измерения наклона (позы тела), что делает их более совершенными по сравнению с теми устройствами, которые не способны измерять статические характеристики.

Место размещения акселерометра на теле является важным фактором при измерении движения тела, поскольку он обычно прикрепляется к той части тела, движение которой изучается [5]. Например, акселерометры, прикрепленные к лодыжке и голени, используются для изучения движений ног во время ходьбы, а акселерометры, прикрепленные к запястью, используются для изучения тремора. Во многих случаях необходимо изучать движения «всего тела». Лучше всего это отражается при размещении датчика как можно ближе к центру массы тела, например, на груди или на талии [5].

Виды протоколов регистрации активности человека

Примерами широко используемых для формирования наборов данных протоколов оценки подвижности являются TUG, 4MW и Turning (рис. 2), а также тесты с двойной задачей TUG-DT и Turning-DT для провокации нарушений циклической походки.

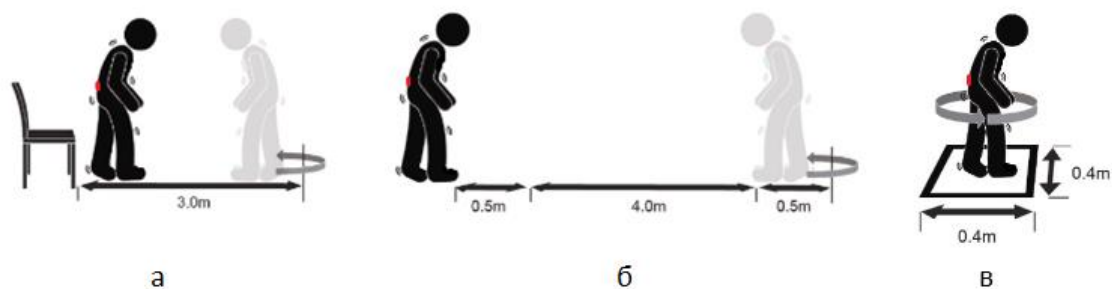


Рис. 2 – Обзор протоколов: а) TUG, б) 4MW, в) Turning.

Представленные тесты дают информацию о базовых движениях, характеризующих активность человека.

Заключение

Проведенный обзор методов анализа походки показывает возможность использования носимых устройств для сбора информации необходимой для формирования и последующего использования методики автоматизированной диагностики заболеваний, связанных с нарушением походки. Использование протоколов TUG, 4MW и Turning позволяет получать стандартизованные выборки, пригодные для обучения интеллектуальных модулей соответствующих автоматизированных систем.

Возможности систем WS в предоставлении информации о походке, полученной во время повседневной деятельности пользователей в течение длительных периодов времени,

открывают направления будущих исследований, направленных на разработку систем мониторинга активности человека.

Будущие исследования должны быть сосредоточены на разработке и совершенствовании алгоритмов обработки и анализа сигналов, чтобы сделать возможным надежную классификацию нарушений походки и сопоставить различные схемы измерения параметров походки с различными указанными заболеваниями, тем самым способствуя ранней диагностике и мониторингу процессов реабилитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lara J., Godfrey A., Evans E., Heaven B., Brown L.J., Barron E. Towards measurement of the healthy ageing phenotype in lifestyle-based intervention studies. *Maturitas*. 2013.
2. Критерии нормальной ходьбы и походки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://meduniver.com/Medical/travmi/xodba_pohodka.html (дата обращения 13.11.2023).
3. Xue Z., Ming D., Song W., Wan B., Jin S. Infrared gait recognition based on wavelet transform and support vector machine. *Pattern Recognit*. 2010.
4. Schutz Y, Weinsier RL, Hunter GR. Assessment of free-living physical activity in humans: an overview of currently available and proposed new measures. *Obes Res* 2001.
5. Bouten CVC, Koekoek KTM, Verduin M, Kodde R, Janssen JD. A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity. *IEEE Trans Biomed Eng* 1997.

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Основина О.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
osnovin72@mail.ru*

***Аннотация.** В данной работе рассматривается подход к построению интеллектуальных обучающих систем, обеспечивающих представление и интерпретацию информации в виде фактов. Рассматривается роль онтологического инжиниринга как на этапе разработки, так и во время функционирования таких систем. Онтология, обеспечивающая представление знаний об изучаемой дисциплине, используется для описания структуры ее информационного наполнения и служит основой для поддержки содержательного доступа к знаниям и данным, интегрированным в информационное пространство обучающего контента.*

Ключевые слова: онтология учебной дисциплины; интеллектуальная обучающая система; модель предметной области; семантические сети.

ONTOLOGICAL APPROACH TO MODELING THE INFORMATION AND LEARNING ENVIRONMENT

Osnovina O.N.

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
osnovin72@mail.ru*

***Abstract.** This paper discusses an approach to building intelligent learning systems that provide presentation and interpretation of information in the form of facts. The role of ontological engineering is considered both at the development stage and during the operation of such systems. The ontology, which provides a representation of knowledge about the discipline being studied, is used to describe the structure of its information content and serves as the basis for supporting meaningful access to knowledge and data integrated into the information space of educational content.*

Keywords: ontology of academic discipline; intelligent teaching system; domain model; semantic networks.

Моделирование информационно-обучающей среды на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ) позволит эффективно организовывать индивидуальную и групповую работу преподавателя с обучаемыми, интегрировать разные методы и подходы формирования требуемых знаний и умений, способствовать развитию навыков самостоятельного обучения. Применение интеллектуальных обучающих систем (ИОС) позволит не только повысить скорость и качество обучения, но и обеспечить их гибкость и быструю адаптацию к современным запросам системы образования.

Приоритетными задачами при проектировании системной архитектуры ИОС являются классификация основных понятий, установление взаимосвязи между ними, выявление необходимых процессов и методов, структуризация знаний предметной области и т. д.

В рамках стандартного подхода реализовать вышеперечисленные задачи достаточно сложно. В определенной степени можно решить проблему качественного описания всех структурных единиц процесса обучения путем использования соответствующего тезауруса. Тезаурус – это особая разновидность словаря, в котором указаны семантические отношения между лексическими единицами [1]. В отличие от толкового словаря, тезаурус позволяет выявить смысл не только с помощью определения, но и посредством соотнесения слова с другими понятиями, благодаря чему может использоваться в системах ИИ. Структура тезауруса может быть выстроена на основе семантических сетей, которые отражают семантику предметной области в виде понятий и отношений и являются одним из наиболее удобных способов представления знаний [2]. Одним из вариантов обеспечения тематической, терминологической и структурной систематизации данных и знаний является построение онтологий учебных дисциплин.

Использование указанного подхода позволит существенно облегчить решение ряда существующих проблем методического обеспечения образовательной деятельности, а именно: разобщенность учебных дисциплин, адекватное описание взаимозависимости и взаимодействия комплексных структур области обучения, терминологическую путаницу, вызванную спецификой языка описания понятий и задач в конкретной предметной области. Использование онтологических моделей учебных дисциплин особенно актуально, когда возникает необходимость достижения общего понимания структуры информации в удобном для восприятия обучаемым виде. Кроме того, это крайне полезный инструмент при постоянной необходимости повторного использования знаний при освоении смежных дисциплин, восполнении пробелов в знаниях, организации контроля освоения дисциплины.

Формальная онтологическая модель предметной области задается множеством классов предметной области, совокупностью отношений между ними и набором аксиом, которые описывают законы и принципы существования классов [3].

Формальное описание онтологии представления имеет вид [3]:

$$O_R = \langle C, R, T, D, A, F, Ax \rangle, \quad (1)$$

где $C = \{C_1, \dots, C_n\}$ - конечное непустое множество классов, описывающих понятия учебной дисциплины;

$R = \{R_1, \dots, R_m\}$, $R_i \subseteq C \times C$, $R = R_T \cup R_P \cup R_A$ - конечное множество бинарных отношений, заданных на классах (понятиях): R_T - антисимметричное, транзитивное, неререфлексивное бинарное отношение наследования, задающее частичный порядок на множестве понятий C , R_P - бинарное транзитивное отношение включения («часть-целое»), R_A - конечное множество ассоциативных отношений;

T - множество стандартных типов;

$D = \{d_1, \dots, d_n\}$ - множество доменов $d_i = \{s_1, \dots, s_k\}$, где s_i - значение стандартного типа *string*;

$TD = T \cup D$ - обобщенный тип данных, включающий множество стандартных типов и множество доменов;

$A = \{a_1, \dots, a_w\}$ - конечное множество атрибутов, описывающих понятия C и отношений R_A ; для каждого класса $C_i \in C$ выделяется подмножество ключевых атрибутов $A_i \in A$, служащих для однозначной идентификации его объектов (экземпляров класса C_i); конкретные значения атрибута a_i должны либо принадлежать одному из доменов d_i ($d_i \in D$), либо иметь тип t_j ($t_j \in T$);

F - множество ограничений на значения понятий и отношений, т.е. предикатов вида $p_i(e_{i1}, e_{i2})$, где e_{i1} - имя атрибута ($e_{ik} \in A$), где e_{i2} - либо имя атрибута ($e_{i2} \in A$), либо константа ($e_{i2} \in td_j$, где $td_j \in TD$);

Ax - множество аксиом, определяющих дополнительную семантику классов и отношений онтологии. Важное место среди них занимают аксиомы, позволяющие выводить ассоциативные отношения между объектами: *если $r_{p1}(c_1, c_2)$ и...и $r_{pn}(c_{m-1}, c_m)$ то $r_c(c_k, c_l)$* , где $r_{pi} \in R$, $pi \in 1..n$, $c_j \in C$, $j \in 1..m$, $r_c \in R_A$, $c_k, c_l \in C$, $k, l \in 1..m$.

Особенностью отношения R_T является то, что при наследовании от родительского класса его классу-потомку передаются не только все атрибуты, но и отношения. Отношение

включения «часть-целое» R_P наделено свойством транзитивности, благодаря чему при поиске объектов можно осуществлять транзитивное замыкание по этому отношению. Набор ассоциативных отношений R_A определяется потребностями конкретной предметной области. Наличие таких отношений позволяет организовать содержательный поиск и навигацию по информационному наполнению учебной дисциплины/ темы/ раздела. Важной особенностью отношений R_A является то, что они могут иметь собственные атрибуты, специализирующие связь между аргументами.

Таким образом, вышеописанный формализм позволяет описывать понятия учебных дисциплин, семантические связи между ними, выстраивать их в иерархию «общее-частное», поддерживать наследование свойств по этой иерархии, предоставляет возможность задавать множество аксиом, определяющих семантику классов и отношений в онтологии, а также накладывать ограничения на значения возможных свойств объектов – экземпляров классов.

На первом этапе создания онтологии составляется и документируется глоссарий наиболее значимых понятий дисциплины, для которых формируются обобщенные классы (концепты). Далее, конкретизируя каждый класс с помощью подклассов, формируется иерархическая таксономия предметной области. На рис. 1 представлен фрагмент таксономии дисциплины «Оценка надежности средств автоматизации (СА)» в виде внутренней структуры понятий, сформированной на основе терминологической базы и иерархической структуры дидактического материала. Для создания онтологии был выбран свободно распространяемый редактор онтологий Protégé, поддерживающий стандарты OWL и RDF, к которому в виде плагинов можно подключать средства визуализации, построения запросов к онтологии, получения выводов и, тем самым, новых знаний и предметной области.

Поскольку онтологии предметных областей строятся фрагментарно и существуют принципиальные отличия между методами, подходами, свойствами и показателями надежности, применяемыми для восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов, то целесообразно на начальном этапе создать классы, соответствующие базовым понятиям категориального уровня: «Оценка надежности СА без учета восстановления», «Оценка надежности СА с учетом восстановления» и класс «Виды нарушения работоспособности». Далее конкретизируется каждый класс посредством иерархии подклассов по некоторому типу отношения «выше-ниже» на основе иерархии тематических узлов, соответствующих содержанию разделов рабочей программы дисциплины (рис. 1).

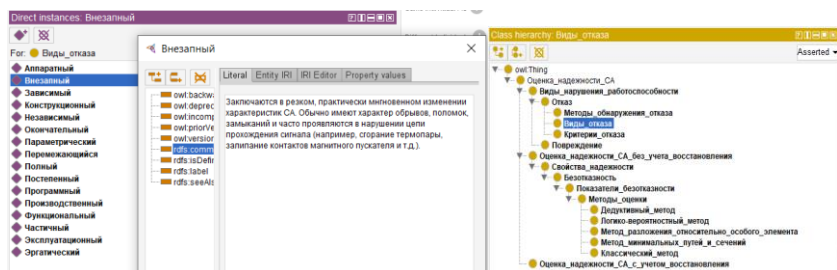


Рис. 1 – Фрагмент таксономии дисциплины «Оценка надежности СА» с экземплярами класса «Виды отказа» и аннотацией «Внезапного» отказа

В дальнейшем связывание разработанных фрагментов в общую онтологию осуществляется через определенные выше понятия категориального уровня.

Далее для каждого определенного класса формируется состав экземпляров в соответствии с принятой классификацией рассматриваемых понятий (классов) и их наполнением. Для любого создаваемого объекта (класс, экземпляр, отношение) необходимо добавить аннотацию, содержащую информацию о нем (рис. 1).

Пример создания множества отношений R между классами и экземплярами представлен на рис. 2.

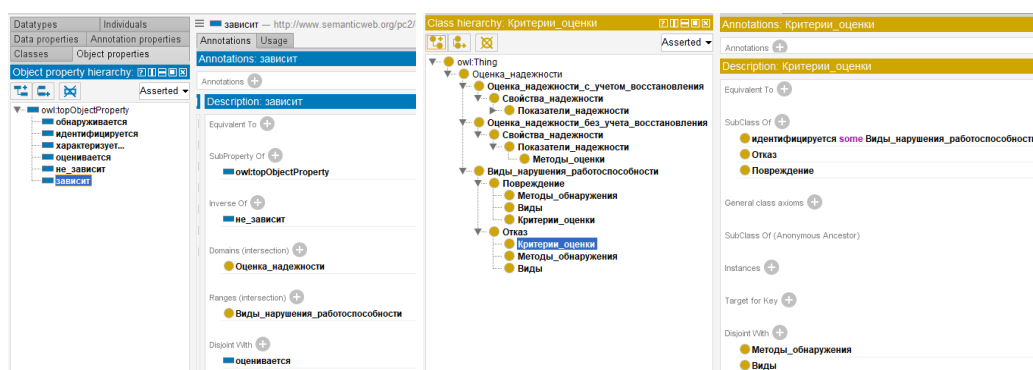


Рис. 2 – Фрагмент иерархии свойств классов онтологии с их описанием и установленным экзистенциальным ограничением «some»

Таким образом, применение ИОС в учебном процессе позволит:

- описывать структуру информационного наполнения дисциплин;
- осуществлять интеллектуальную интеграцию информации по отдельным тематическим узлам благодаря единообразному отображению понятий и отношений между ними;
- обеспечивать содержательный доступ к знаниям и данным, интегрированным в информационное пространство дисциплин.

Разработка онтологий учебных дисциплин с заполнением соответствующими фактографическими данными, позволяет получить универсальную базу знаний, на основе которой генерируется различный по содержанию и объему образовательный контент. Использование предлагаемого подхода обеспечит эффективный доступ обучающихся к систематизированным знаниям и информационным ресурсам образовательного содержания обучающих материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев В.Д., Добров Б.В., Иванов В.В. и др. Онтологии и тезаурусы: учебно-методическое пособие. Казань: Казанский государственный университет, 2006. 197 с.
2. Шустова Д. В. Разработка тезауруса прикладной онтологии. //Аспирантский вестник Поволжья. 2010. № 1–2. С. 108–110.
3. Онтологическая модель представления знаний // Сайт факультета ВолгГУ. Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:http://fevt.ru/load/ontologicheskaja_model_znanij/124-1-0-1732.

АНАЛИЗ ШУМОВЫХ СВОЙСТВ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Основина О.Н., Бочаров Н.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
osnovin72@mail.ru, s2100535@edu.MISIS.ru

***Аннотация.** В данной работе исследовалась возможность измерения шумовых параметров усилительных устройств с использованием средства анализа шумов Noise Analysis программы схемотехнического моделирования Multisim. Для обеспечения качественной работы электронного устройства в условиях высокой помеховой активности и слабых сигналов крайне важным является проведение точных и надежных измерений для получения объективной информации о работе проектируемого устройства.*

Ключевые слова: коэффициент шума; измерительный усилитель; шумовая модель; цепи питания и смещения; шумовое напряжение.

ANALYSIS OF THE NOISE PROPERTIES OF THE AMPLIFIER STAGE

Osnovina O.N., Bocharov N.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
osnovin72@mail.ru, s2100535@edu.misis.ru

***Abstract.** In this work, we investigated the possibility of measuring the noise parameters of amplification devices using the Noise Analysis noise analysis tool of the Multisim circuit modeling program. To ensure high-quality operation of an electronic device in conditions of high interference activity and weak signals, it is extremely important to carry out accurate and reliable measurements to obtain objective information about the operation of the designed device.*

Keywords: noise figure; instrumentation amplifier; noise model; power and bias circuits; noise voltage.

В любой области измерений значение предельно различимого слабого сигнала определяется шумом – мешающим сигналом, который забивает полезный сигнал [1]. Поэтому одним из основных требований при проектировании измерительных усилителей является

малый уровень собственных шумов, которые ограничивают чувствительность устройства при усилении и измерении слабых сигналов. Если полезные сигналы слабее собственных шумов, то их прием становится затруднительным и в некоторых случаях практически невозможен.

Полный шум, возникающий в усилителе, обусловлен различными причинами и имеет несколько составляющих. В рамках данной статьи будут рассмотрены причины и последствия влияния шумов пассивных элементов (резисторов), способы построения малошумящих цепей питания и смещения усилителей, а также варианты анализа шумовых свойств.

Шумом активного сопротивления, как правило, принято обозначать помехи флуктуационного характера, обусловленные своим происхождением тепловым движением зарядов. Тепловой (джонсоновский) шум, имеет горизонтальный частотный спектр и связан с тепловыми флуктуациями электронов, характерными для любого резистора [2]. Поскольку все области активных приборов усилительных схем, например транзисторов, обладают сопротивлением, то и сам транзистор является источником теплового шума.

Действующие значения шумового напряжения $U_{ШТ}$ и тока $I_{ШТ}$, порождаемых тепловыми шумами в сопротивлении R , наблюдаемое в полосе частот Δf , можно рассчитать:

$$U_{ШТ} = \sqrt{4kTR\Delta f}, \quad (1)$$

$$I_{ШТ} = \sqrt{\frac{4kT}{R} \Delta f}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура в кельвинах.

Тепловой шум устанавливает нижнюю границу напряжения шумов усилителя.

Источником фликкер-шума резистора, проявляющегося преимущественно на низких частотах, является изменение контакта и, следовательно, сопротивление проводящего слоя, что ведет к флуктуациям напряжения на резисторе [2]:

$$U_{Шфл} = \sqrt{U_0^\alpha R^\beta f^{-n} \Delta f}, \quad (3)$$

где U_0 – приложенное постоянное напряжение, В; $\alpha=1,2-1,8$; $\beta=1,25$; $n=0,9-1,2$.

К сожалению, определение точного значения частоты, с которой начинается фликкер-шум, затруднительно. В разных литературных источниках указаны значения 10^{-3} , 10^{-2} , $6 \cdot 10^{-5}$ Гц. Поэтому при проектировании малошумящих схем важно использовать современные автоматизированные средства анализа и компьютерного проектирования, что позволит проверить правильность расчета параметров элементов и характеристик усилителя.

Таким образом, для резисторов напряжение шумов складывается из двух частей:

$$U_{Rш}^2 = U_{ШТ}^2 + U_{Шфл}^2.$$

Удобной характеристикой качества усилителя является коэффициент шума, определяемый на заданной частоте входного сигнала при одинаковых температурных условиях на входе и выходе каскада как результат деления отношения мощности сигнала к

мощности шума на входе усилителя на отношение мощности сигнала к мощности шума на выходе [1]:

$$F = \frac{P_{СВХ}/P_{ШВХ}}{P_{СВЫХ}/P_{ШВЫХ}} = \frac{P_{ШВЫХ}}{K_P P_{ШВХ}}, \quad (4)$$

где $K_P = K_U^2 = \frac{P_{СВЫХ}}{P_{СВХ}}$ – коэффициент усиления по мощности.

Применение существующих графических техник расчета шума придает всей теме проектирования малошумных усилителей довольно устрашающий вид [1], потому что связано с необходимостью детального анализа паспортных данных транзисторов, построения их шумовых характеристик, количественной оценки отдельного вклада различных шумовых источников, поиска оптимальных значений коллекторного I_K и эмиттерного $I_Э$ токов транзистора, сопротивлений источника сигнала $R_{ИСТ}$ и т.д.

Программа Multisim с помощью средства анализа шумов (Noise Analysis) позволяет моделировать вышеописанные типы шумов, создавать шумовую модель усилителя, используя шумовые модели каждого резистора, определять коэффициенты внутренних (inoise_total) и внешних (onoise_total) шумов в частотном диапазоне, заданном в диалоговом окне анализа [3].

Для анализа шумовых свойств выбран наиболее часто применяемый усилитель, в котором смещение в базовую цепь подается с помощью делителя напряжения $R_{\delta 1} R_{\delta 2}$ (рис. 1, а). При правильном выборе тока делителя I_D разброс коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ не будет влиять на режим работы каскада по постоянному току.

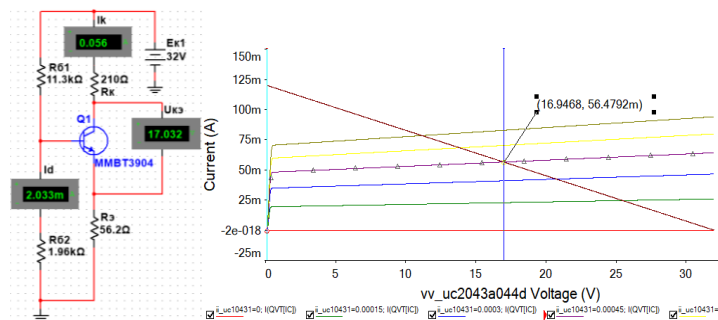


Рис. 1 – Результаты моделирования режима покоя усилителя и выбор точки покоя

Для нахождения тока делителя определили параметры режима покоя (I_K , $I_Б$, $U_{КЭ}$). Для чего на выходных ВАХ транзистора ММВТ3904 построили линию нагрузки по постоянному току (рис. 1) и задали на ней положение точки покоя для условия усиления входных сигналов с минимальными линейными искажениями (режим А). Задали ток делителя: $I_D = (5 \dots 10)I_Б = (5 \dots 10) \frac{I_K}{h_{21Э}}$. При этом $R_{\delta 1} + R_{\delta 2} = \frac{E_K}{I_D}$. Затем по заданному напряжению на эмиттере $U_Э = (0,1 \dots 0,3)E_K$ вычислили сопротивление $R_Э = \frac{U_Э}{I_К}$. Сопротивления резисторов в цепи смещения:

$$R_{61} = \frac{E_K - U_{Э-0,6}}{I_D}, \quad R_{62} = \frac{U_{Э+0,6}}{I_D}. \text{ Результаты измерения напряжения покоя } U_{КЭ} \text{ (рис. 1)}$$

подтверждают правильность выполненных расчетов.

Источниками шума на низких частотах являются разделительные конденсаторы C_{P1} и C_{P2} (рис. 2) по входу и выходу соответственно. Для устранения их влияния на шумовые свойства каскада их емкости необходимо выбирать с запасом:

$$C_{P1} \geq \frac{10}{2\pi f_H (R_{вх.ус} + R_{ист.})}, \quad C_{P2} \geq \frac{10}{2\pi f_H R_{вых.ус}}, \quad (5)$$

где $R_{вх.ус}$ – входное сопротивление усилительного каскада: $R_{вх.ус} = R_{61} \parallel R_{62} \parallel h_{11Э}$;

$R_{вых.ус}$ – выходное сопротивление усилительного каскада: $R_{ВЫХ} = \frac{R_K}{1 + h_{22Э} \cdot R_K}$; $R_{ист.}$ – внутреннее

сопротивление источника сигнала.

Чтобы сохранить те полезные эффекты, которые приносит влияние последовательной ООС по току на частоте полезного сигнала сопротивление $R_{Э}$ делится на два сопротивления $R_{Э1}$ и $R_{Э2}$, а блокировочный конденсатор $C_{Э}$ подключен только к $R_{Э2}$, как показано на рис. 2. Теперь по постоянному току ООС обеспечивается через два последовательно включенных резистора, а по переменному току в рабочей полосе частот только через резистор $R_{Э1}$. Варьируя соотношение сопротивлений $R_{Э1}$ и $R_{Э2}$ (но оставляя постоянной их сумму), можно установить необходимую глубину ООС в рабочей полосе частот, оставляя неизменным режим работы каскада по постоянному току. Наличие резистора $R_{Э1}$ приводит к увеличению эквивалентного сопротивления базовой цепи, что, в свою очередь, приводит к повышению коэффициента шума, поэтому сопротивление $R_{Э1}$ должно быть минимальным и не превышать сопротивление источника сигнала $R_{ист.}$. Кроме того, цепь ООС ухудшает шумовые свойства усилителя, поскольку ведена через активные сопротивления. Избыточный шум на $R_{Э2}$ подавляется фильтрующей емкостью блокировочного конденсатора $C_{Э}$, емкость которого желательно выбирать по верхнему пределу:

$$C_{Э} > \frac{10}{2\pi f_H (R_{62} + r_Э)}, \quad (6)$$

где $r_Э = \frac{\varphi_T}{I_Э}$ – дифференциальное сопротивление эмиттера транзистора; φ_T – температурный потенциал (при нормальных условиях $\varphi_T = 25 \dots 26 \text{ мВ}$).

Принципиальная схема усилителя с рассчитанными выше параметрами и результаты моделирования его АЧХ представлены на рис. 2. Достаточно широкая полоса пропускания, определенная на уровне -3 дБ (от 1,5 кГц до 200 МГц), оказывает существенное влияние на шумовые свойства усилителя.

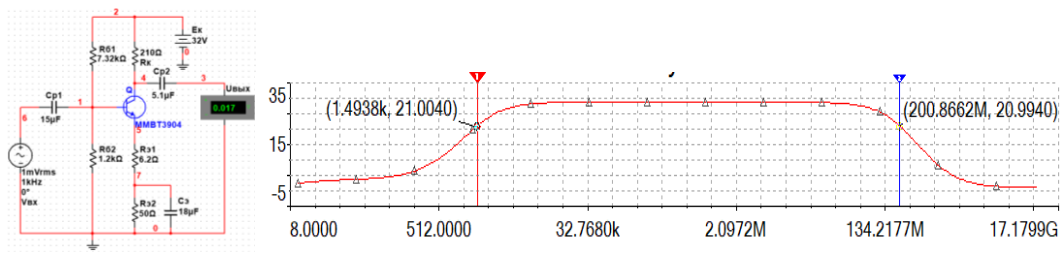


Рис. 2 – Принципиальная схема усилителя и его АЧХ

По результатам выполненного шумового анализа (рис. 3) видно, что шумы присутствуют на всех частотах. На рис 3, а в таблице представлены коэффициенты внутренних и внешних шумов, вносимых резисторами цепи смещения R_{01} R_{02} и цепи ООС – R_{01} R_{02} . Полученный график спектра внешнего шума (рис. 3, б) показывает, что шумовое напряжение, вносимое этими резисторами на низких частотах довольно значительно, особенно резистором R_{02} . Стремление сохранить коэффициент усиления, блокируя ООС, приводит к повышению уровня внешних шумов усилителя. Внутренние шумы на выходе в полосе усиливаемых частот находятся на низком уровне, что подтверждает график спектра шума, представленный на рис. 3, в.

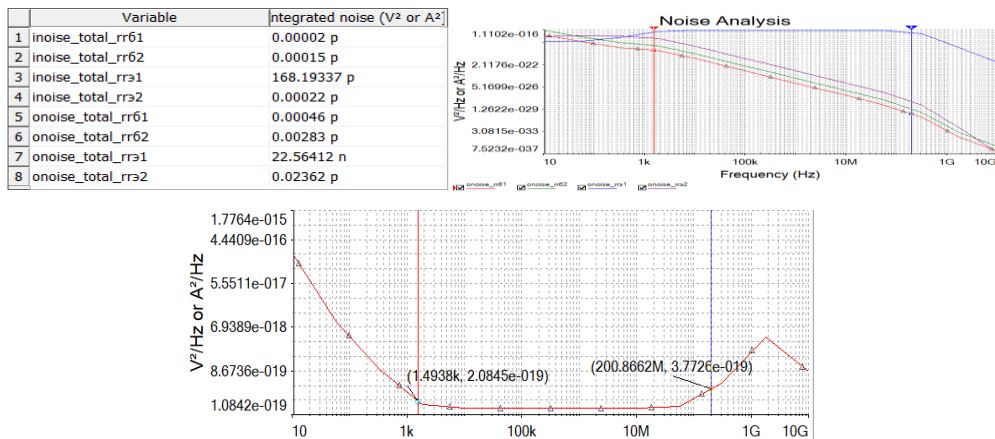


Рис. 3 – Результаты шумового анализа работы усилителя

Таким образом, детальный анализ и возможность измерения и оценки шумового вклада отдельных элементов в общий шум усилителя является важной задачей в проектировании современных прецизионных измерительных устройств, так как позволяет оптимизировать их работу и обеспечить высокое качество передачи и приема сигналов. Модельный эксперимент с использованием функции шумового анализа является мощным средством предварительного исследования и анализа проектируемого усилителя на предмет качества усиления и помехозащищенности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-ух томах. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. 598 с.
2. Ежков Ю. А. Справочник по схемотехнике усилителей. – 2-е изд., перераб. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 272 с.
3. Гололобов В.Н. Схемотехника с программой Multisim для любознательных. – СПб.: Наука и Техника, 2019. – 272 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Основина О.Н., Бочаров Н.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

***Аннотация.** В статье рассматриваются способы минимизации и оценки уровня шумов транзистора при помощи программы схемотехнического моделирования Multisim. Коэффициент шума является чувствительным показателем и может существенно варьироваться в зависимости от рабочих условий и характеристик транзистора. Поэтому проведение точных и надежных измерений является крайне важным для получения объективной информации о работе транзистора и усилителя в целом.*

Ключевые слова: коэффициент шума; биполярный транзистор; источник шумового напряжения; малошумящий усилитель; шумовой входной ток.

MODELING AND MEASURING THE NOISE PARAMETERS OF A BIPOLAR TRANSISTOR

Osnovina O.N., Bocharov N.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article discusses methods for minimizing and estimating the noise level of a transistor using the Multisim circuit modeling program. Noise figure is a sensitive indicator and can vary significantly depending on operating conditions and transistor characteristics. Therefore, carrying out accurate and reliable measurements is extremely important to obtain objective information about the operation of the transistor and the amplifier as a whole.*

Keywords: noise figure; bipolar transistor; noise voltage source; low noise amplifier; noise input current.

Основным способом снижения вероятности ошибок при приеме и обработке слабых сигналов является усиление полезного сигнала электронными устройствами, которые имеют низкий уровень собственных шумов. Традиционные методы увеличения соотношения полезного сигнала к шуму заключаются, с одной стороны, в увеличении мощности сигнала,

передаваемого в направлении приемника, а с другой — в увеличении усиления приемной антенны. Подобные способы связаны с известными трудностями, поскольку увеличение мощности сигнала передатчика ограничивается законодательно соответствующими контрольными органами, а увеличение усиления в антенне обычно связано с необходимостью разработки более дорогой и более громоздкой антенной системы [1]. Альтернативным способом увеличения соотношения полезного сигнала к шуму является минимизация коэффициента шума приемной системы и ее компонентов. Таким образом, измерения коэффициента шума абсолютно необходимы, чтобы иметь уверенность в том, что шум, вносимый элементами приемной системы, допустимый.

Основными источниками шумов в биполярном транзисторе считаются тепловые шумы, дробовые шумы и фликкер-шумы [2].

Среднеквадратичное напряжение входных шумов складывается из трех частей:

$$E_{\text{ШВХ}}^2 = 4kTR_{\text{ист}}\Delta f + 4kT\left(r_{\delta} + \frac{r_{\varepsilon}}{2}\right)\Delta f + \frac{2qI_{\varepsilon}}{h_{21\varepsilon}}\Delta f(R_{\text{ист}} + r_{\delta})^2, \quad (1)$$

где первая часть – тепловые шумы источника сигнала $R_{\text{ист}}$, вторая – источник шумового напряжения, третья – напряжение шума, создаваемого токовой составляющей на сопротивлении источника сигнала и объемном сопротивлении базы транзистора r_{δ} . Как видно из формулы (3), важнейшими шумовыми параметрами транзистора являются объемное сопротивление базы r_{δ} и коэффициент усиления по току $h_{21\varepsilon}$. Чем меньше $h_{21\varepsilon}$, тем больше шумы, так как уменьшение $h_{21\varepsilon}$ сопровождается увеличением тока базы I_{δ} , что приводит к увеличению шумового напряжения на сопротивлении базы r_{δ} . Поскольку r_{δ} включено во входную цепь транзистора, то шумовое напряжение усиливается вместе с полезным сигналом. Помимо сказанного, уменьшение $h_{21\varepsilon}$ приводит к усилению рекомбинации, которая является причиной дополнительных рекомбинационных шумов.

При увеличении коллекторного тока $I_{к0}$ в режиме покоя шумы возрастают. Для снижения шумов можно понизить напряжение на коллекторном p - n переходе $U_{кб}$, но это приведет к снижению коллекторного $I_{к0}$ и эмиттерного $I_{\varepsilon0}$ токов, а следовательно, и $h_{21\varepsilon}$, что опять-таки повысит уровень шумов.

По частоте шумы транзистора распределены неравномерно. На низких частотах увеличиваются мерцательные шумы. На верхних частотах коэффициент шума возрастает вследствие снижения $h_{21\varepsilon}$. Чем шире полоса пропускания усилителя, тем больше шумовая составляющая [1].

Поэтому при проектировании малошумящих усилителей на дискретных элементах требуется найти компромисс между усилением каскада и его коэффициентом шума, при сохранении устойчивости в рабочем диапазоне частот и за его пределами. Для принятия этих компромиссных решений необходимо знать, как коэффициент усиления транзистора и его

коэффициент шума изменяются в зависимости от внутреннего сопротивления источника сигнала, токов коллектора и эмиттера, сопротивления базы, температуры и др.

Шум, порождаемый усилительным элементом, можно промоделировать с помощью простой модели (рис. 1), достаточно точной для многих целей. На рис. 1 $e_{швх}$ обозначает источник входного шумового напряжения, последовательный по отношению к входному сигналу, а $i_{швх}$ обозначает шум входного тока.

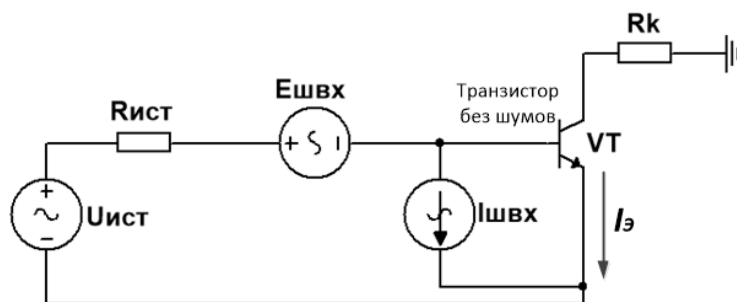


Рис. 1 – Эквивалентные генераторы шумов, приведенных ко входу биполярного транзистора

Транзистор предполагается бесшумным и просто усиливает полное эффективное напряжение входного шума:

$$e_{вх.эфф.} = [e_{швх}^2 + (R_{ист}i_{швх})^2]^{1/2}, \quad (2)$$

где второе слагаемое – это напряжение шума, порождаемое прохождением шума входного тока транзистора через $R_{ист}$. Эти два шума не коррелированы (за исключением очень высоких частот), поэтому их квадраты складываются [2].

Эквивалентный генератор входного шумового напряжения $e_{швх}$ есть сумма теплового шума, порожденного объемным сопротивлением базы r_b , и дробового шума коллекторного тока I_k , порождающего шум напряжения на дифференциальном сопротивлении эмиттера $r_э$:

$$e_{швх}^2 = 4kTr_b + 2qI_k r_э^2 = 4kTr_b + 2 \frac{(kT)^2}{(qI_k)} \quad (3)$$

Шумовой входной ток $i_{швх}$, определяемый с помощью (6), следует учитывать, поскольку он порождает дополнительный шум напряжения на полном сопротивлении источника сигнала $R_{ист}$:

$$i_{швх}^2 = \frac{2qI_э}{h_{21э}} \quad (4)$$

Основным источником $i_{швх}$ являются флуктуации дробового шума в установившемся токе базы I_b , складывающиеся с флуктуациями, порожденными шумом фликкер-эффекта в r_b . Вклад дробового шума – это шум тока, возрастающий пропорционально корню квадратному из I_b (или $I_э$) и имеющий плоский частотный спектр, в то время как составляющая шума фликкер-эффекта растет с $I_э$ быстрее и имеет обычную частотную зависимость вида $1/f$.

Тот факт, что $e_{швх}$ падает, а $i_{швх}$ растет с ростом $I_э$, дает возможность оптимизировать рабочий ток транзистора для получения минимального шума при заданном источнике сигнала.

Коэффициент шума определяется:

$$F = \left(1 + \frac{r_6}{R_{ист}} + \frac{r_э}{2R_{ист}}\right) \left(1 + \frac{1}{h_{21э}}\right) + \left(\frac{(R_{ист} + r_6)^2}{2h_{21э}R_{ист}}\right) \quad (5)$$

В связи с тем, что коэффициент шума зависит не только от $R_{ист}$, но и от $I_э$, необходимо определить оптимальное значение последнего $I_{эопт}$, при котором коэффициент шума дополнительно минимизируется [2].

Минимум шумов биполярного транзистора достигается при токе эмиттера:

$$I_{эопт} = \frac{\varphi_T \sqrt{h_{21э}}}{R_{ист} + r_6} \quad (6)$$

При этом оптимальное сопротивление эмиттера:

$$r_{эопт} = (R_{ист} + r_6) \sqrt{\frac{1}{1 + h_{21э}}} \quad (7)$$

Для вычисленных $r_{эопт}$ и $I_{эопт}$ коэффициент шума:

$$F_{min}^I = \frac{r_6 + \frac{r_{эопт} + R_{ист}}{2}}{R_{ист}} \quad (8)$$

Оптимальное сопротивление источника сигнала:

$$R_{ист.опт} = \sqrt{(r_6 + r_э)^2 + h_{21э} r_э (r_э + 2r_6)} \quad (9)$$

Тогда коэффициент шума:

$$F_{min}^R = 1 + \frac{r_6 + r_э + R_{ист.опт}}{h_{21э} r_э} \quad (10)$$

Абсолютный минимум коэффициент шума достигается при одновременном использовании оптимального режима работы транзистора и сопротивлении источника сигнала:

$$R'_{ист.опт} = r_6 \sqrt{h_{21э}}; \quad (11)$$

$$F'_{min} = 1 + \frac{r_{эопт} + r_6 (1 + \sqrt{h_{21э}})}{h_{21э} r_{эопт}} \quad (12)$$

Для моделирования шумовых свойств был выбран биполярный транзистор КТ3102 (его аналог в Multisim - 2N5209) с объемным сопротивлением базы 600 Ом, частотой среза фликкер-шума 10 кГц, током эмиттера 10 мА и коэффициентом усиления по току 300. Полученные с помощью (3) и (4) значения параметров эквивалентных генераторов входного шумового напряжения и тока соответственно:

$$e_{швх}^2 = 9,74 \cdot 10^{-18} \text{ В/Гц}, \quad i_{швх}^2 = 2,13 \cdot 10^{-23} \text{ А/Гц}.$$

Рассчитанное с помощью (9) оптимальное напряжение сопротивление источника сигнала $R_{ист.опт} = 231$ Ом. Среднеквадратичное напряжение входных шумов, рассчитанное с помощью (1) для полосы пропускания $\Delta f = 10$ кГц составило $E_{швх}^2 = 6,87 \cdot 10^{-14} \text{ В/Гц}$.

На рис. 2 представлены результаты моделирования, полученные с помощью средства анализа шумов *Noise Analysis* программы *Multisim*. Рассчитанные и измеренные значения суммарных внешних шумов практически совпали.

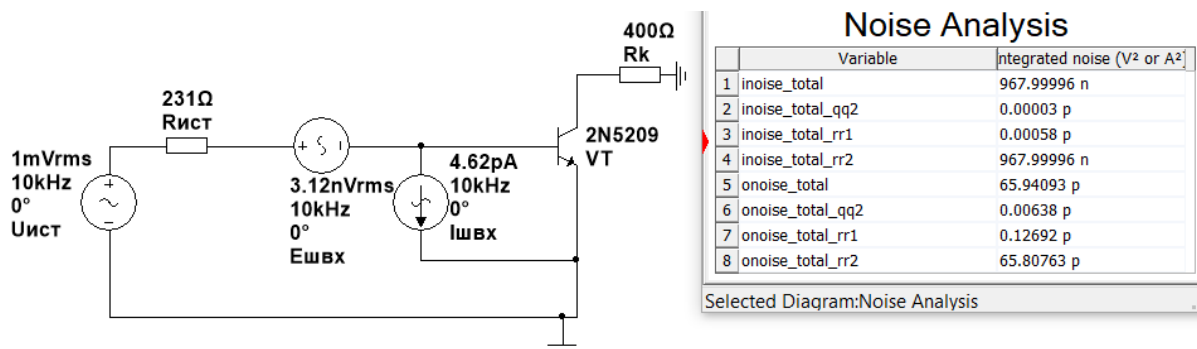


Рис. 2 – Результаты шумового анализа

Анализ шумов моделируемого транзистора представлен спектром выходного суммарного внутреннего/ внешнего шума (*inoise_total/ onoise_total*), спектром вклада внешних и внутренних шумов, создаваемых резисторами схемы и самим транзистором.

Таким образом, обеспечение возможности измерения и контроля уровня шумов транзистора позволит без труда оценивать чувствительность всей системы, обеспечить высокое качество передачи и приема слабых сигналов, оптимизировать работу усилительных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-ух томах. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. 598 с.
2. Ежков Ю. А. Справочник по схемотехнике усилителей. – 2-е изд., перераб. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 272 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОШУМЯЩИХ УСИЛИТЕЛЕЙ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Основина О.Н., Бочаров Н.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
osnovin72@mail.ru, s2100535@edu.misis.ru

***Аннотация.** В работе представлены подходы и результаты шумового анализа усилительных каскадов на полевых транзисторах. Проведен анализ влияния каждого компонента усилителя на общий уровень генерируемых шумов. Разработаны производственные правила для проектирования малошумящих усилителей на полевых транзисторах.*

Ключевые слова: полевой транзистор; затвор; исток; производственные правила; коэффициент шума; измерительный усилитель; шумовая модель; шумовое напряжение.

FEATURES OF DESIGNING LOW-NOISE AMPLIFIERS BASED ON FIELD-EFFECT TRANSISTORS

Osnovina O.N., Bocharov N.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The paper presents approaches and results of noise analysis of amplifier stages using field-effect transistors. The influence of each amplifier component on the overall level of generated noise was analyzed. Product rules have been developed for the design of low-noise amplifiers based on field-effect transistors.*

Keywords: field-effect transistor; gate; source; production rules; noise figure; instrumentation amplifier; noise model; noise voltage.

При выборе элементной базы и проектировании многокаскадного усилителя для работы со слабым входным сигналом необходимо уделить особое внимание малошумному построению первого каскада, поскольку именно он является основным источником шумов. В случае, когда входной полезный сигнал слабее собственных шумов усилителя, то его прием и обработка становятся практически невозможны. Выбор элементной базы для реализации

входного каскада обусловлен необходимостью согласования сопротивлений источника сигнала и входного каскада, а также поиском оптимальных режимов работы каскада по постоянному току за счет выбора схем смещения и питания.

Одним из распространенных вариантов является выбор полевого транзистора, в собственные шумы которого основной вклад вносят тепловые флуктуации носителей в канале. Расчет теплового (джонсоновского) шума, устанавливающего нижнюю границу напряжения шумов всего усилителя, осложняется тем, что сечение канала зависит от режима работы транзистора. Однако, среднеквадратичное значение шумового тока канала можно рассчитать:

$$\overline{I_{\text{шк}}^2} = 4kT * \frac{2S}{3}, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура в кельвинах, S – значение крутизны характеристики полевого транзистора [1].

Причиной появления фликкер-шума в полевом транзисторе является кольцевой $p-n$ -переход, смещенный в обратном направлении. В цепи затвора протекает обратный ток затвора I_3 – ток утечки, который содержит дробовой шум. Среднеквадратичное значение шумового тока затвора можно рассчитать:

$$\overline{I_{\text{шз}}^2} = 2qI_3\Delta f, \quad (2)$$

где Δf – ширина полосы пропускания [1].

Точное значения частоты, с которой возникает фликкер-шум, на практике определить достаточно проблематично, так как в разных литературных источниках указаны значения 10^{-3} , 10^{-2} , $6*10^{-5}$ Гц.

При возрастании частоты начинает проявляться индуцированный шум затвора. Тепловой шум канала вызывает локальные флуктуации заряда, следовательно, и потенциала относительно затвора. Это приводит к появлению шумового емкостного тока в цепи затвора. Среднеквадратичное значение этого тока оценивается формулой:

$$\overline{I_{\text{шз инд}}^2} = 4kT\Delta f * \frac{w^2 C_{\text{зи}}}{4S}, \quad (3)$$

где $C_{\text{зи}}$ – емкость затвор-исток, w – проводимость участка затвор-исток [1].

Таким образом, для полевого транзистора шумовой ток складывается из трех частей:

$$I_{\text{ш}}^2 = \overline{I_{\text{шз}}^2} + \overline{I_{\text{шз инд}}^2} + \overline{I_{\text{шк}}^2} \quad (4)$$

Использование существующих техник расчета шума придает проектированию малошумных усилителей весьма громоздкий вид [2], так как весь процесс неразрывно связан с необходимостью детального анализа паспортных данных транзисторов, построения их шумовых характеристик, количественной оценки отдельного вклада различных шумовых источников и т.д. Поэтому при проектировании малошумящих схем важно использовать

современные автоматизированные средства анализа и компьютерного проектирования, что позволит проверить правильность расчета параметров элементов и характеристик усилителя.

Выбор средства анализа шумов (Noise Analysis) Multisim позволит моделировать вышеописанные типы шумов полевого транзистора, создавать шумовую модель усилителя, а также определять коэффициенты внутренних (inoise_total) и внешних (onoise_total) шумов в частотном диапазоне, заданном в диалоговом окне анализа.

Для анализа шумовых свойств был реализован усилитель на малошумящем полевом транзисторе 2SK117. Для моделирования работы усилителя в режиме покоя задали ток стока в соответствии со справочными данными $I_C = 0.5 \text{ мА}$, для которого нормирован коэффициент шума.

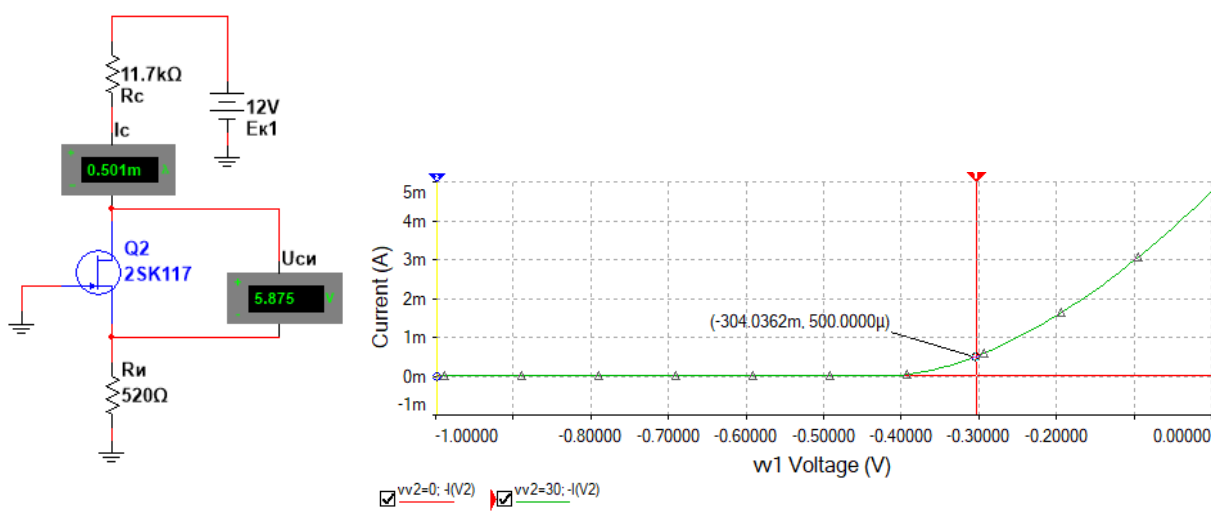


Рис. 1 – Результаты моделирования режима покоя усилителя и выбор точки покоя

Для определения параметров режима покоя на полученной стоко-затворной характеристике выбранного транзистора задали положение точки покоя для условия усиления входных сигналов с минимальными линейными искажениями (рис. 1). Определили сопротивление в цепи истока $R_{и} = \frac{U_{3и}}{I_C}$ и стока $R_C = \frac{E_k - U_C}{I_C}$. При этом напряжение стока определено как $U_C = \frac{E_k - U_{3и}}{2}$. Результаты измерения тока покоя I_C (рис. 1) подтверждают правильность выполненных расчетов.

Для устранения влияния шунтирующего конденсатора $C_{и}$ в диапазоне низких частот на шумовые свойства каскада (рис. 2) его емкость необходимо выбирать с запасом:

$$C_{и} \geq \frac{1600}{f_{min} R_{и}}, \quad (5)$$

где f_{min} – минимально усиливаемая частота

Принципиальная схема усилителя с рассчитанными выше параметрами и результаты моделирования спектра внешних и внутренних шумов представлены на рис. 2.

По результатам выполненного шумового анализа (рис. 2б) видно, что шумы присутствуют на всех частотах. На рис 2в, а в таблице представлены коэффициенты внутренних и внешних шумов, вносимые каждым компонентом. Полученный график спектра внешнего шума (рис. 2б) показывает, проявление фликкер-шума до частоты $f = 517$ Гц, а после того, как частота превысила 30 МГц, начал затухать коэффициент усиления, вследствие чего шумы снизились до минимального значения.

Таким образом, детальный анализ и возможность измерения и оценки шумового вклада отдельных компонентов усилителя является неотъемлемой частью в проектировании современных прецизионных измерительных устройств, так как позволяет, моделируя их работу, оптимизировать устройства и обеспечить необходимое качество усиления и приема сигналов.

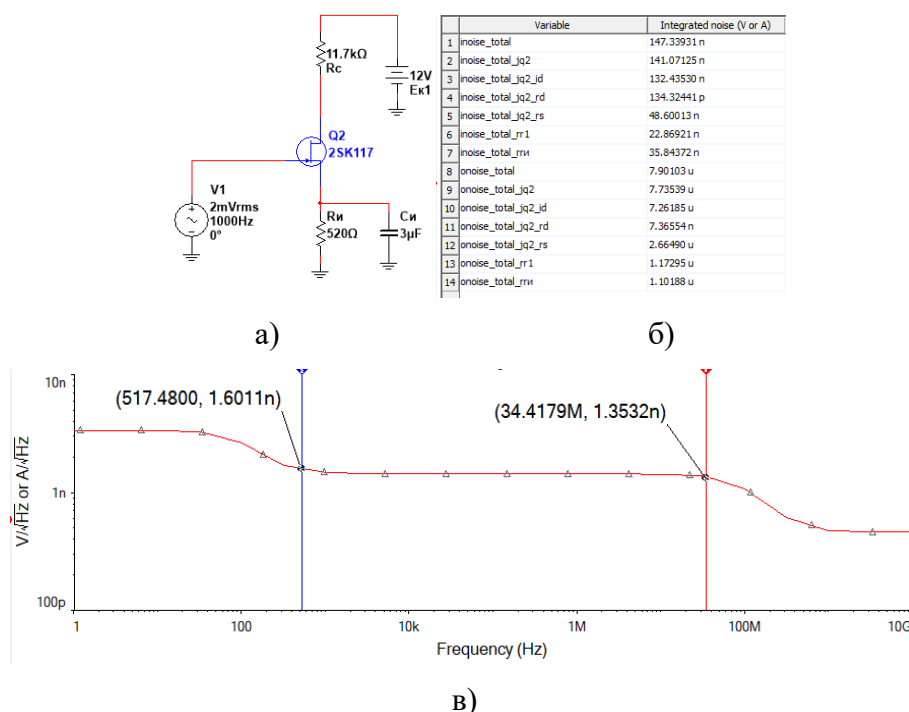


Рис. 2 – Результаты моделирования: а – схема моделируемого усилителя; б – оценки шумовых вкладов; в – график спектра внешних шумов

Необходимость поиска компромисса между усилением каскада, сохранением устойчивости в рабочем диапазоне частот, шумовыми показателями, низким энергопотреблением, потерями, искажениями и др. обуславливает объективную необходимость детального анализа и учета множества, зачастую противоречащих друг другу, факторов при проектировании малозумящих усилителей на дискретных элементах.

Авторами разработаны продукционные правила для последующей реализации модели представления знаний для разработки экспертной системы поддержки принятия решений в области проектирования прецизионных измерительных усилителей. Представленные ниже

примеры правил могут быть использованы в качестве рекомендаций при выборе, расчете и оптимизации параметров входных каскадов на полевых транзисторах для минимизации коэффициента шума:

1. В диапазоне средних частот:

- ЕСЛИ $R_{ист} > 1 \text{ кОм}$ ТО транзистор полевой;

- ЕСЛИ транзистор полевой И $300 \text{ Гц} \leq f_{\phi} \leq 5000 \text{ Гц}$ ТО $S \rightarrow \max$;

- ЕСЛИ транзистор полевой И $300 \text{ Гц} \leq f_{\phi} \leq 5000 \text{ Гц}$ ТО $U_{зи} \rightarrow \min$.

4. ЕСЛИ транзистор полевой И $300 \text{ Гц} \leq f_{\phi} \leq 5000 \text{ Гц}$ И $S \rightarrow \max$ И $U_{зи} \rightarrow \min$ ТО

$$I_C \approx I_{снас}$$

5. ЕСЛИ транзистор полевой И $300 \text{ Гц} \leq f_{\phi} \leq 5000 \text{ Гц}$ И $U_{max} \leq 0,1 \text{ В}$ ТО $|U_{си}| \geq |U_{отс}| + U_m$ И $|U_{си}| \leq 2,2 |U_{отс}|$.

Частота среза фликкер-шума f_{ϕ} является справочным параметром транзистора и критерием границ разделения частотного диапазона.

2. Для диапазона низких частот, где проявляется, главным образом, фликкер-шум:

- ЕСЛИ транзистор полевой И $f_{\phi} < 300 \text{ Гц}$ И $S \rightarrow \max$ И $U_{зи} \rightarrow \min$ ТО $\left| \frac{U_{зи}}{U_{отс}} \right| > 0,2$;

- ЕСЛИ транзистор полевой И $f_{\phi} < 300 \text{ Гц}$ ТО $\left| \frac{S}{I_3} \right| \rightarrow \max$;

- ЕСЛИ транзистор полевой И $f_{\phi} < 300 \text{ Гц}$ ТО транзистор КП303А;

- ЕСЛИ транзистор полевой И $f_{\phi} < 300 \text{ Гц}$ И транзистор КП303А ТО $U_{си} > 5 \text{ В}$;

- ЕСЛИ транзистор полевой И $f_{\phi} > 1000 \text{ Гц}$ ТО транзистор КП307.

3. Для диапазона высоких частот:

- ЕСЛИ транзистор полевой И $f_{\phi} > 5000 \text{ Гц}$ ТО $\left| \frac{S}{C_{зи}} \right| \rightarrow \max$.

Таким образом, формирование системы продукционных правил, объединяющих информацию из разнообразных источников, результаты существующих исследований, интуитивные мнения экспертов и последующая разработка продукционной модели представления знаний позволит получить эффективный инструмент в области проектирования измерительных прецизионных устройств. Такой подход существенно упрощает анализ знаний и накопленного опыта в проектировании и дает возможность повторного их использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежков Ю. А. Справочник по схемотехнике усилителей. – 2-е изд., перераб. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 272 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-ух томах. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. 598 с.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОНТОЛОГИЙ

Основина О.Н., Сверчкова К.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
osnovin72@mail.ru, krisrina.sverchkova28@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности оценки надежности программного обеспечения, связанные со спецификой источников ненадежности и характером их проявления на разных этапах жизненного цикла. Практическая ограниченность применения существующих методик расчета надежности ПО обуславливает объективную необходимость разработки экспертных систем, аккумулирующих весь спектр расчетных приложений и знаний по их применению на практике.

Ключевые слова: оценка надежности; программное обеспечение; аналитическое моделирование; показатели надежности; отказ программы; онтология предметной области.

ASSESSING SOFTWARE RELIABILITY USING ONTOLOGIES

Osnovina O.N., Sverchkova K.S.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article discusses the features of assessing software reliability related to the specific sources of unreliability and the nature of their manifestation at different stages of the life cycle. The practical limitations of using existing methods for calculating software reliability determine the objective need to develop expert systems that accumulate the entire range of calculation applications and knowledge on their use in practice.

Keywords: reliability assessment; software; analytical modeling; reliability indicators; program failure; domain ontology.

Системность надежности заключается в том, что для сложных объектов она определяется не только надежностью отдельных компонентов и подсистем, но и их взаимным влиянием. Поэтому надежность программного обеспечения (ПО) необходимо рассматривать

исходя из того, что оно является одной из обеспечивающих подсистем автоматизированных систем обработки информации и управления, наряду с другими подсистемами, такими как, техническое, информационное, математическое.

Для обеспечения надежности современного программного обеспечения (ПО) предложено множество подходов, включая организационные методы разработки, различные технологии и технологические программные средства, модели, что требует, очевидно, привлечения значительных ресурсов. Однако отсутствие общепризнанных критериев надежности не позволяет ответить на вопрос, насколько надежнее становится ПО при соблюдении предлагаемых процедур и технологий и в какой степени оправданы затраты. Таким образом, приоритет задачи оценки надежности ПО должен быть выше приоритета задачи ее обеспечения, чего на самом деле в настоящее время не наблюдается.

ПО в отличие от аппаратного не чувствительно к эксплуатационным факторам, поэтому его надежность определяется в основном устранимыми ошибками системного проектирования и программирования, что обеспечивает повышение показателей надежности (ПН) ПО на протяжении его длительной эксплуатации.

Оценка надежности ПО существенно отличается от регламентированных методов расчета надежности материальных объектов потому, что отказы ПО имеют иную природу и не зависят от условий эксплуатации, внешнего окружения, физического старения и износа элементов и иных причин. Отказ программы есть событие, состоящее в прекращении выполнения требуемых функций с учетом заданных ограничений [1].

Основной источник ненадежности ПО – ошибки, сделанные разработчиками на разных стадиях проектирования. Истинные причины возникновения ошибок в программных системах обусловлены сложностью ПО как по объему элементов, так и по структуре и взаимной связности, использованием значительных наборов входных данных и необходимостью анализа большого числа внутренних состояний.

При оценке надежности ПО может быть использовано большое количество разных моделей надежности, описывающих один и тот же процесс; отсутствует универсальная модель оценки надежности, которую можно было бы применить для описания любых программных систем с удовлетворительной точностью; в существующих моделях надежности отсутствует возможность учета «вторичных дефектов». Процедура оценки надежности программной системы усложняется тем, что параллельное тестирование нескольких экземпляров ПО, дающее почти полностью зависимые результаты, имеет смысл только при различном сочетании входных данных и управляющих воздействий, однако при этом сложнее оценивать корреляцию проводимых тестов и обрабатывать полученные результаты. Количество всех

возможных состояний для любой нетривиальной программы настолько велико что не позволяет осуществить полный объем тестовых испытаний.

Исходя из приведенных выше аргументов можно заключить, что отказ ПО не может рассматриваться с точки зрения общепринятой теории надежности технических систем, это самостоятельное понятие, применимое к информационным продуктам и связанное с ошибками программирования. Использование понятия интенсивности отказов также не имеет смысла, а надежность ПО следует рассматривать в контексте информационной достоверности его работы. Теория вероятностей не может эффективно использоваться для исследования процессов, происходящих в ПО.

Аналитическое моделирование надежности ПО состоит из четырех основных этапов:

- 1) определение стратегии и конкретного плана процесса тестирования программного средства исходя из задачи обнаружения ошибок;
- 2) выбор или создание математической модели, основанной на принятой стратегии и плане тестирования;
- 3) выбор параметров моделей на основе полученных данных;
- 4) расчет количественных ПН с использованием построенной модели.

Существующие аналитические модели позволяют рассчитать количественные ПН на основе информации о поведении системы во время тестирования, а эмпирические - базируются на знании структурных и поведенческих особенностей ПО. Они описывают зависимость ПН от количества межмодульных связей, числа циклов в модулях, отношения длины последовательных участков кода к количеству точек ветвления и так далее. При этом эмпирические модели часто не дают результирующих значений показателей [2].

Аналитические модели могут относиться к двум типам: динамическим или статическим. Если в динамических моделях надежности ПО поведение программы как процесс появления отказов рассматривается во времени, то в статических моделях появление отказов не связывают со временем, а учитывается только зависимость количества ошибок от числа тестовых прогонов или зависимость количества ошибок от состояния входных данных. При этом отсутствуют предположения о поведении функции риска в процессе тестирования.

Продолжающееся развитие специализированных методов анализа и расчета ПН для ПО ведет к тому, что существующие методики расчета становятся все более сложными для практического применения. С этой точки зрения разработка и внедрение системы обеспечения надежности ПО, аккумулирующей весь спектр расчетных приложений и знаний по их применению на практике, становится незаменимым в условиях повседневной деятельности проектных организаций. В этих условиях база знаний по вопросам надежности вкупе с математическими методами расчетов приобретает самостоятельную ценность для широкого

круга проектных организаций, в отличие от, например, ныне существующих универсальных математических и статистических пакетов прикладных программ. Учитывая, что практическая реализация системы, основанной на знаниях, предполагает использование принципа открытости для пополнения как системы знаний, так и набора расчетных методов, данная система может служить мощным информационным ресурсом для проектантов и специалистов в области оценки и обеспечения надежности программных средств.

Перечисленные особенности в совокупности с человеческим фактором обуславливают проблемно-ориентированную направленность разработки системы обеспечения надежности ПО, предполагающую функциональное разделение компонентов объектнонезависимых математических моделей расчетов ПН и экспертных компонентов, использующих специфическую методологию решения сложноформализуемых задач оценки надежности ПО.

Главной задачей разработки экспертных компонентов является построение концептуальной модели предметной области (КМПрО), определяющей как систему представления, хранения и использования профессиональных знаний, так и способы получения численных данных, хранящихся в соответствующих базах. Помимо уровня профессиональных знаний, как правило, присутствует более высокий уровень знаний о том, как применять эти профессиональные знания в конкретной ситуации, определенной конкретными данными.

Для представления КМПрО предлагается применить онтологический инжиниринг, что позволит систематизировать основные концепты ПрО, используемые методы и модели, связать все причины и источники ненадежности ПО, их взаимовлияние друг на друга, а также формировать рекомендации соответствующим разработчикам по корректировке различных аспектов проектных решений, сформулированные на базе контекстно-зависимого языка описания предметной области.

Для формирования онтологии был выбран открытый редактор онтологий Protégé, так как он имеет исчерпывающую документацию, поддерживается значительным сообществом, состоящим из разработчиков и учёных, правительственных и корпоративных пользователей, использующих его для решения задач, связанных со знаниями, в таких разнообразных областях, как биомедицина, сбор знаний и корпоративное моделирование [3].

При создании фрагмента онтологии «Аналитические модели оценки надежности ПО» были выделены основные концепты ПрО и определены базовые классы в соответствии с классификацией моделей. Для базовых классов выделены подклассы и определены их экземпляры (рис. 1).

В режиме «Annotations» есть возможность документировать классы, свойства и т.д. во время создания и редактирования онтологий, чтобы исключить возможные разночтения при их анализе разными специалистами.

Графическая визуализация иерархии классов представлена на рис. 2. Связи (отношения) между объектами отображаются стрелками разных цветов и типов линий.

Применение данного подхода позволит систематизировать накопленный опыт и знания специалистов в области надежности ПО, анализировать и предсказывать надежность показатели на начальных этапах разработки ПО без необходимости проведения длительных и дорогостоящих экспериментов.

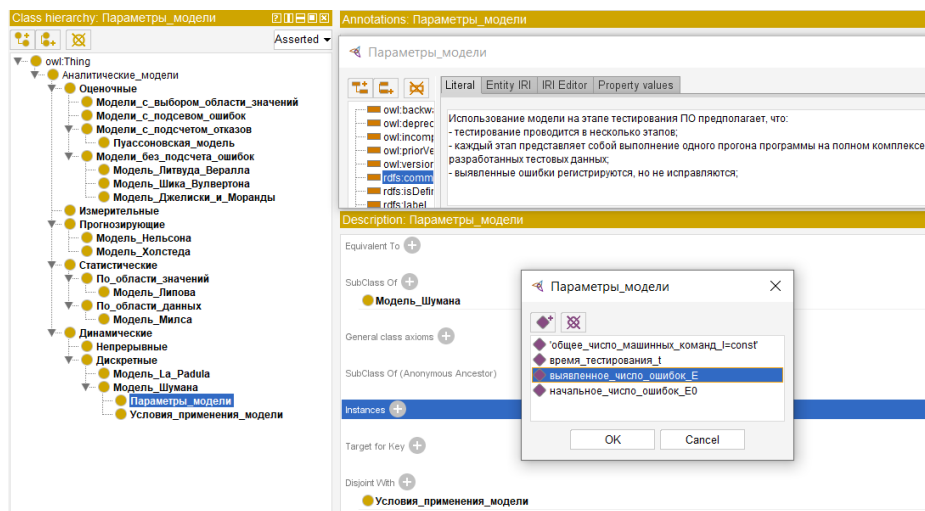


Рис. 1 – Фрагмент выделенных классов и экземпляры класса «Параметры модели»

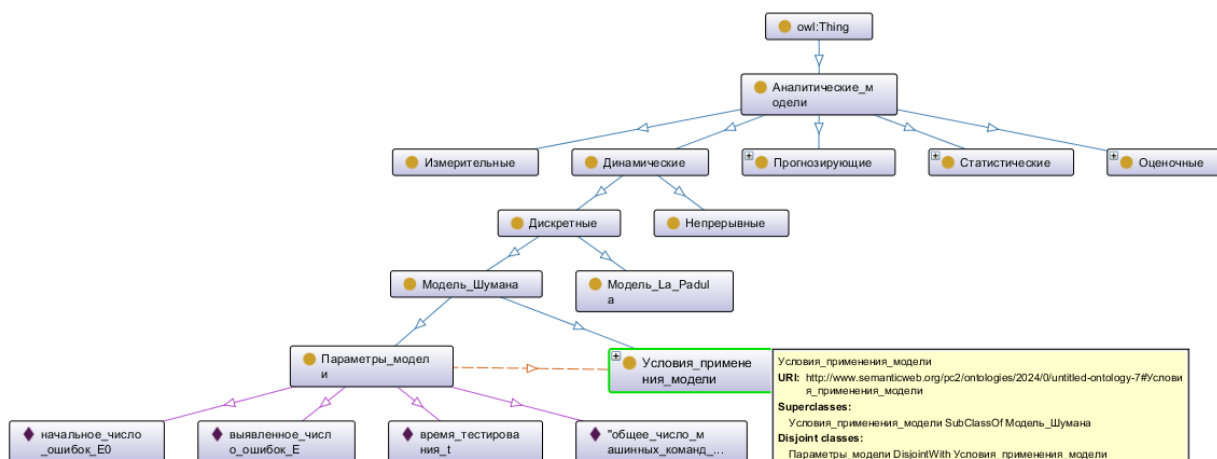


Рис. 2 – Фрагмент развернутого представления иерархии классов с экземплярами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липаев В.В. Надежность программного обеспечения. М.: СИНТЕГ, 1998.
2. Лаврищева Е. М., Пакулин Н.В., Рыжов А. Г., Зеленов С.В. Анализ методов оценки надежности оборудования и систем. Практика применения методов. Труды ИСП РАН, том 30, вып. 3, 2018 г., стр. 99–120 / Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS, vol. 30, issue. 3, 2018, pp. 99-120 (in Russian). DOI:10.15514/ISPRAS-2018–30(3)–8
3. Бахшиев А.В., Орлова С.Р., Комаров А., Степанов Д.Н. Классификация сценариев и алгоритмов в системах технического зрения беспилотных транспортных средств. Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции», Санкт-Петербург, с. 400-409. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://er.rtc.ru/index.php/ru/sbornik>.

ОЦЕНКА ПЛАТЁЖЕСПОСОБНОСТИ КЛИЕНТОВ БАНКОВСКИХ КРЕДИТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Рубан А.В., Симонова А.Г.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
alesha-20012010@yandex.ru, anna_simonova@list.ru*

***Аннотация.** Предлагается проект оценки платежеспособности банковских кредитов с помощью нейронных сетей, который нацелен на создание автоматизированной системы, использующей методы глубокого обучения для прогнозирования вероятности возврата клиентами. Используя данные кредитной истории, доходах и других факторах. Проект стремится повысить точность оценки рисков и эффективность процесса принятия решений в сфере выдачи банковских кредитов.*

Ключевые слова: банк; кредит; клиент; нейронная сеть.

ASSESSING THE SOLVENCY OF BANK LOAN CUSTOMERS USING NEURAL NETWORKS

Ruban A.V., Simonova A.G.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** We propose a project for assessing the solvency of bank loans using neural networks, which aims to create an automated system that uses deep learning techniques to predict the probability of customer repayment. Using data on credit history, income and other factors. The project aims to improve the accuracy of risk assessment and the efficiency of the decision-making process in bank loan origination.*

Keywords: bank; credit; customer; neural network.

В современном мире, где банковская система сталкивается с постоянными вызовами и усилиями по совершенствованию, вопрос оценки платёжеспособности клиентов банковских кредитов приобретает особую актуальность. В условиях сложной экономической динамики и быстро меняющихся рыночных требований традиционные методы анализа сталкиваются с

ограничениями, а именно с неспособностью учитывать многозначность и взаимосвязи между множеством факторов, влияющих на финансовое положение клиентов.

Новые технологии становятся ключевым фактором изменения в отношениях банков, инвестиционных фирм и страховых компаний с клиентами, а также в поиске новых источников прибыли. Эксперты единодушно отмечают, что инвестиционные фирмы наиболее активно внедряют новые технологии, за ними следуют банки, и страховые компании занимают последнее место в этом процессе.

Несмотря на стабильность предоставляемых банками услуг, методы их реализации могут различаться в зависимости от технологических возможностей и стратегий каждого банка. Во многих банковских информационных системах автоматизированы лишь основные и важные задачи, с точки зрения разработчиков системы. Это объясняется, возможно, отсутствием некоторых видов услуг, таких как факторинг, лизинг, карточные услуги. Однако, также существуют управленческие задачи, решаемые в каждом банке, которые, как правило, отсутствуют в большинстве российских банковских информационных систем [1]. К примеру, автоматизированный анализ качества кредитного портфеля, прогнозирование и планирование кредитных ресурсов, а также автоматизированный анализ кредитоспособности физических лиц.

Экономические изменения в России предполагают существенные изменения в отношениях банков с предприятиями, организациями и другими банками. Банки, как коммерческие организации, осуществляющие широкий спектр операций, несут различные финансовые риски, связанные с деятельностью клиентов. Важным средством обеспечения финансовой устойчивости банка является квалифицированный выбор партнеров на внутреннем и внешнем рынках. Решающую роль в этом процессе играет экономический анализ деятельности клиента, который предоставляет руководству банка информацию для оценки вероятности исполнения клиентом своих обязательств и для принятия соответствующих управленческих решений.

Экономический анализ деятельности клиента должен проводиться банком постоянно, начиная с момента заключения договора на обслуживание клиента. Особенно важен глубокий экономический анализ, в частности анализ кредитоспособности, при заключении кредитных сделок. Это позволяет предотвратить необоснованные кредитные вложения, обеспечивает своевременный возврат ссуд и имеет важное значение для эффективного использования ресурсов [2].

Традиционные методы анализа данных уже не всегда способны эффективно учитывать множество переменных, влияющих на финансовое положение заемщика. Именно в этот

момент в игру вступают нейронные сети – мощный инструмент искусственного интеллекта, способный революционизировать процессы оценки платёжеспособности в банковской сфере.

В основе эффективности нейронных сетей лежит их способность адаптироваться к разнообразным данным и автоматически выявлять сложные закономерности, которые могли бы остаться невидимыми для человеческого аналитика. В начале стоит тщательная подготовка данных. Собираются и структурируются различные финансовые показатели, транзакционная и кредитная история клиента. Этот процесс не только позволяет более полно охватить финансовое состояние заемщика, но и делает возможным использование большего объема данных для обучения нейронной сети.

Выбор подходящей архитектуры нейронной сети становится ключевым моментом. Глубокие нейронные сети и рекуррентные нейронные сети предоставляют различные инструменты для анализа данных. Глубокие нейронные сети эффективны в выявлении сложных взаимосвязей, в то время как рекуррентные нейронные сети могут учитывать последовательности событий во времени, что особенно важно для предсказания долгосрочной платёжеспособности.

Прогноз служит основой банковской программы для выдачи заемщикам кредитов. Его цель — оценить платежеспособность клиентов. От эффективности и точности прогноза напрямую зависит погашение долга.

В настоящее время наблюдается растущая популярность систем прогнозирования на основе нейронных сетей.

Применение нейронных сетей позволяет человеку внедрить свой опыт в автоматизированную систему. Благодаря наличию опыта можно решить задачу, даже если ранее не сталкивались с подобными ситуациями.

У данного метода можно легко выделить ряд преимуществ:

- отсутствие формальной модели и при этом нетребовательность к большому объему статистических данных;
- быстрая адаптация к изменившимся условиям;
- нетребовательность к знаниям пользователя. Данный метод имеет один важный недостаток
- логическую непрозрачность получаемых результатов.

В теории использование нейросетевого прогнозирования должно быть удобным для обычного пользователя, поскольку не требует специальных знаний и способно справляться с задачами практически любой сложности. Однако на практике выясняется, что создание эффективной нейросетевой модели, способной решать задачу прогнозирования, представляет собой сложный процесс. При использовании нейросетей пользователь сталкивается с

множеством настроек на каждом этапе формирования обучающей выборки и обучения нейронной сети. Даже при небольшом числе вариантов настроек на каждом этапе мы можем получить более 1000 различных нейросетевых моделей, каждая из которых может более или менее успешно решать задачу прогнозирования. Понятно, что провести столько экспериментов для каждой задачи и выбрать лучшую модель практически невозможно. Поэтому необходимо автоматизировать процесс поиска наилучшей нейросетевой модели.

На рис. 1 представлена модель системы нейропрогнозирования в виде «черного ящика».



Рис. 1 – Система «НейроПрогноз»

Автоматический процесс поиска оптимальной модели осуществляется автономно, не требуя участия пользователя. В систему подаются фактические данные временного ряда, а также небольшой набор дополнительных параметров, которые способствуют оптимизации процесса прогнозирования, включая информацию о сезонности, пиках временного ряда и другие характеристики.

Автоматический процесс поиска оптимальной модели осуществляется автономно, не требуя участия пользователя. В систему подаются фактические данные временного ряда, а также небольшой набор дополнительных параметров, которые способствуют оптимизации процесса прогнозирования, включая информацию о сезонности, пиках временного ряда и другие характеристики.

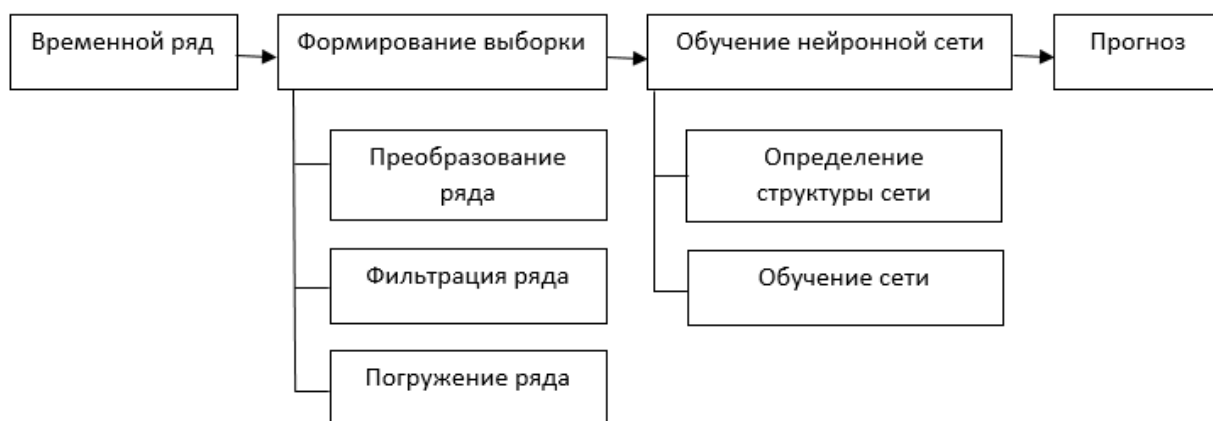


Рис. 2 – Процесс получения нейросетевой модели

Следующим этапом является обучение модели на основе предварительно подготовленных данных. Нейронная сеть, адаптируясь к особенностям данных, начинает выявлять закономерности, которые затем используются для оценки платёжеспособности клиентов. Этот процесс не только автоматизирует рутинные задачи, но и повышает точность анализа благодаря способности нейронных сетей обобщать изученные паттерны на новые данные.

Нейронные сети также предоставляют возможность анализа данных в режиме реального времени, что делает оценку более динамичной и актуальной. Банки, внедряющие этот подход, могут оперативно реагировать на изменения в финансовом положении клиентов, что особенно важно в условиях быстро меняющейся экономической среды.

Таким образом, оценка платёжеспособности клиентов банковских кредитов с использованием нейронных сетей не просто представляет собой технологический прорыв, но и становится стратегическим шагом в банковской сфере. Эта инновация существенно повышает эффективность и точность принимаемых решений, делая процесс более адаптивным и реагирующим на изменения в финансовой среде. В ближайшем будущем нейронные сети могут стать неотъемлемой частью каждого банковского процесса, открыв новые горизонты для более надёжной и инновационной финансовой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высоцкая, А.Н. Система оценки кредитоспособности заемщика / А.Н. Высоцкая // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2016.
2. Алешин В.А., Рудаева О.О. Кредитный скоринг как инструмент повышения качества банковского риск-менеджмента в современных условиях // Terra Economicus. 2012.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕЖКОНТУРНЫХ ВНУТРИПЕЧНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Савостин Н.В., Фомин А.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
snsb@bk.ru, Verner444@yandex.ru

Аннотация. *Статья посвящена исследованию по поиску зависимости температуры в печи от различных параметров с помощью использования нейронных сетей.*

Ключевые слова: Нейронная сеть; нагревательная печь; многозонная печь нагрева, температура в печи нагрева, давление в печи нагрева.

ON THE ISSUE OF THE USE OF NEURAL NETWORKS IN THE TASK OF IDENTIFYING INTER-CIRCUIT INTRA-INTESTINAL INTERACTIONS

Savostin N.V., Fomin A.V.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *The article is devoted to research on finding the dependence of the temperature in the furnace on various parameters using neural networks.*

Keywords: Neural network; heating furnace; multi-zone heating furnace, temperature in the heating furnace, pressure in the heating furnace.

Введение

Металлургия важная энергоемкая производственная отрасль любой страны. В сфере подобного производства печи нагрева металла одни из основных. Данные печи потребляют огромное количество топлива. Одной из задач, является точное управление технологическим режимом. Управление печью и контроль расхода ресурсов напрямую влияют на установление стоимости конечного продукта [1].

В области металлургических печей проводится ряд исследований. Первые направлены на изучение и исследование физической составляющей печи. Изменение или усовершенствование горелок. Для этого необходимо полностью останавливать печь и модернизировать ее под новое оборудование [2,3,4].

Вторые исследования проводятся в области изменений параметров ПИД-регулятора с целью повысить точность управления [5]. В данной области есть успехи, но забывается фактор энергоэффективности и наличие малого количества переходных процессов внутри печи [6].

Третьи исследования направлены в область математического моделирования. Математические модели с каждым годом становятся сложнее, но учитывать абсолютно все параметры, для описания тепловых процессов внутри печи, очень сложно.

В сегодняшних реалиях широко применяются нейронные сети в различных областях, металлургия не исключение [7]. Данный подход поможет учитывать влияние различных факторов: давления в пространстве печи, межзонные и межконтурные взаимодействия [8], операции загрузки и выгрузки заготовок, время нагрева заготовок. Учёт данных параметров позволит значительно повысить как точность регулирования, так и энергоэффективность.

Материалы исследования

Управление параметрами печи ведется с помощью ПИД-регулятора. Печь является сложным многомерным нелинейным объектом управления. К параметрам, вмешивающимся в поддержание технологического режима, относятся: межзонное влияние, изменение давления, размер заготовок, перемещение заготовок, выгрузка и загрузка заготовок в печь. В печи существует параметр коэффициент усиления зоны, он напрямую зависит от температуры в печи и расхода газа и других параметров, которые необходимо идентифицировать. В печи 6 зон (попарно расположенных), будут рассматриваться пары зон 1-2, 3-4, 5-6.

Из проведенных ранее исследований выяснилось, что применение регрессионного анализа приводит к получению модели с «длинными хвостами», что не позволяет использовать полученную модель в дальнейшем, несмотря на высокий коэффициент регрессии. Для решения данной задачи необходимо использовать метод идентификации с помощью нейронных сетей [9].

Ход исследования

В ходе исследования использовались технологические данные собранные, за 2 недели работы печи: положение шибера, расход газа, уставка, давление, время заготовки в печи, время заготовки в каждой из зон, коэффициент усиления зоны 1-2, 3-4, 5-6. Необходимо определить какие технологические параметры влияют на коэффициент усиления зон печи.

Данные анализируются при помощи нейронной сети прямого распространения сигнала. Все эксперименты проводились с помощью нейросети прямого распространения сигнала в среде MatLab [10].

В эксперименте №1 для того, чтобы найти зависимость коэффициента усиления зоны 1-2, брались следующие параметры: положение шибера, время нахождения заготовки в зонах 1-2, давление печи. Затем проводилось обучение нейронной сети на основе обучающей

выборки и последующая проверка нейронной сети на тестовой выборке. Результатом исследования мы получили зависимость коэффициента усиления от выбранных параметров 82 % рис.1А.

Эксперименты №2 и №3 повторялись аналогичным образом, но заменялся параметр: нахождение заготовки в зоне 1-2, на параметр: нахождение заготовки в зоне (с номером зоны, для которой проводилось исследование). Результатом исследования №2 является зависимость коэффициента усиления 83% рис. 1Б. Для эксперимента №3 зависимость составила 83% рис. 1В.

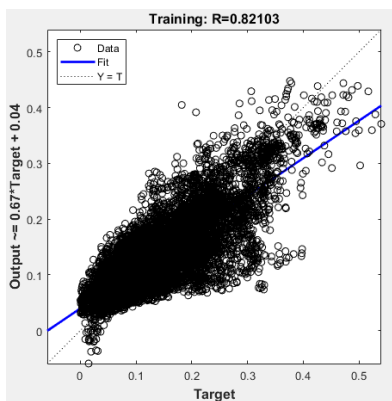


Рис. 1А – Эксперимент №1

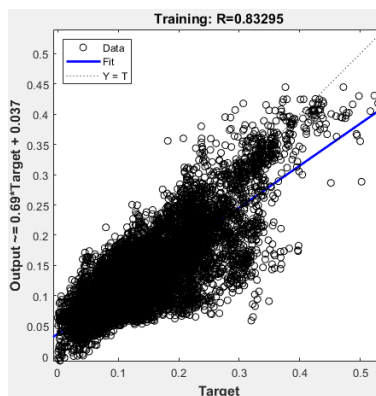


Рис. 1Б – Эксперимент №2

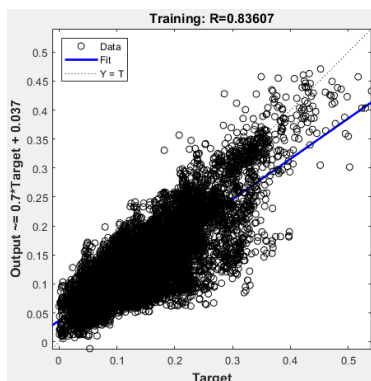


Рис. 1В – Эксперимент №3

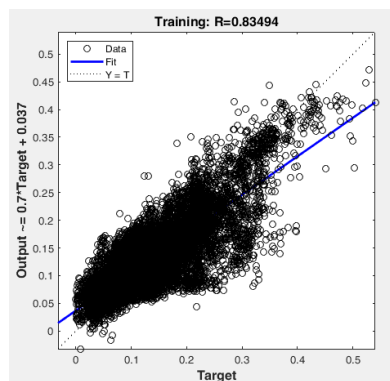


Рис. 1Г – Эксперимент №4

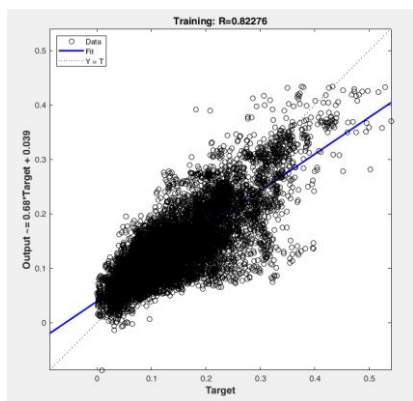


Рис. 1Д – Эксперимент №5

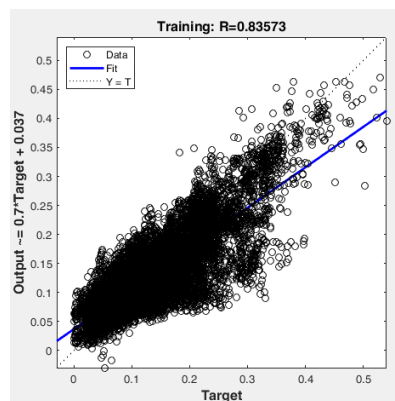


Рис. 1Е – Эксперимент №6

Однако, для повышения качества идентификации межконтурных взаимодействий, в дальнейших исследованиях предлагается рассмотреть аппарат искусственных нейронных сетей, в том числе, LSTM сетей, что позволит учесть динамику и транспортные запаздывания объекта управления.

Ниже представлена сравнительная Таблица 1.

Сравнительная Таблица – 1.

№	Коэффициент зоны	Какие входы	Кол-во нейронов	Обучающая выборка	Тестовая выборка
1	1-2	Положение шиберов; Время заготовки в зонах 1-2 печи; Давление	100	82	64
2	3-4	Положение шиберов; Время заготовки в зонах 3-4 печи; Давление	100	83	70
3	5-6	Положение шиберов; Время заготовки в зонах 5-6 печи; Давление	100	83	66

Вывод: были получены нейросетевые зависимости коэффициентов усиления зон 1-2, 3-4, 5-6. Результаты исследования позволяют сделать вывод о влиянии на коэффициент усиления в зонах следующих технологических параметров: положения шиберов и связанным с ним напрямую давлением в печи, и времени нахождения заготовки в зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюков А.Б., Иванова А.А. Диагностика температурного состояния металла при его тепловой обработке в печах непрерывного действия // *Металлург*. 2018. № 4. С. 33-37.
2. Бирюков, А. Б. Методика прогнозирования теплотехнической эффективности использования рекуперативных горелок / А. Б. Бирюков, П. А. Гнитиев, Я. С. Власов // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. – 2018. – № 1. – С. 13-19.
3. Панферов, В. И. К решению задачи контроля температуры металла в АСУ ТП методических печей / В. И. Панферов, С. В. Панферов // *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. Серия: *Металлургия*. – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 63-75.
4. Начкебия Н.С., Бирюков А.Б. Анализ расчетных методов и математических моделей теплообменных процессов в насадках регенеративных горелок / *Вестник ДонНУ*. Серия Г: *Технические науки*. – 2023. – № 1.

5. Панферов В.И., Панферов С.В. К проблеме анализа и синтеза регуляторов в системах автоматизации металлургических печей / Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2022. Т. 22, № 3. С. 93–108
6. Фомин А. В., Глущенко А. И. Повышение качества управления нагревательными печами АО" ОЭМК" путем применения табличной адаптации параметров пи-регуляторов. Improving quality of control of heating furnaces of jsc" oemk" with use of tabular adaptation of parameters of pi controllers //Металлург. – 2019. – №. 3. – с. 37-42.
7. Жуков П. И., Глущенко А. И., Фомин А. В. Модель для прогнозирования температуры заготовки по ретроспекции ее нагрева на основе бустинга структуры «случайный лес» // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2020. Т. 18, № 4. С. 11–27.)
8. Фомин А.В. Математическая модель зависимости расхода газа в зонах печи от производительности прокатного стана. / Металлург. 2023. № 2. С. 111-116.
9. Петров И.М., Иванцова А.Б., Шишкова С.Г., Кузнецов А.М. Практика применения нейросетевого моделирования в металлургии / В сборнике: Актуальные аспекты развития науки и общества в эпоху цифровой трансформации. Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 55-60.
10. Курбатова Н.В., Пустовалова О.Г. Основы MatLab в примерах и задачах./ Учебно-методическое пособие к практикуму по курсу «Пакеты компьютерной алгебры». / Ростов-на-Дону. 2017.

ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Сверчкова К.С., Основина О.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
krisrina.sverchkova28@mail.ru, osnovin72@mail.ru*

***Аннотация.** В статье рассматривается направление искусственного интеллекта - онтологический инжиниринг, основными задачами которого является разработка методологии и инструментальных средств автоматизированного проектирования формальной (компьютерной) онтологии предметной области. В программных системах разные этапы жизненного цикла, на разных этапах вносятся разные ошибки, все ошибки в итоге повлияют на работу системы в конце написания ее алгоритма. Реализация данной работы позволит выявлять ошибки в программе на конкретных этапах ее написания.*

Ключевые слова: Онтологическая модель; база знаний; семантика; программное обеспечение.

APPLICATION OF ONTOLOGICAL ENGINEERING FOR THE DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

Sverchkova K.S., Osnovina O.N.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article considers the direction of artificial intelligence - ontological engineering, the main tasks of which are to develop a methodology and tools for computer-aided design of formal (computer) ontology of the subject area. There are different stages of the life cycle in software systems, different errors are introduced at different stages, all errors will eventually affect the operation of the system at the end of writing its algorithm. The implementation of this work will allow you to identify errors in the program at specific stages of its writing.*

Keywords: Ontological model; knowledge base; semantics; software.

Онтология определяет основные понятия, их атрибуты и связи, которые позволяют описать мир или определенную предметную область. Она служит основой для создания компьютерных моделей, баз знаний и систем, которые используются для семантического анализа, поиска информации, автоматического вывода и других задач.

Онтологии могут быть представлены в виде формальных языков, таких как OWL (Web Ontology Language) или RDF (Resource Description Framework), которые позволяют машинам понимать и обрабатывать знания на основе определенных правил и логики.

Использование онтологий позволяет структурировать и организовывать знания, облегчает обмен информацией между различными системами и повышает точность и эффективность автоматической обработки информации. Модель онтологии представлена на рисунке 1.

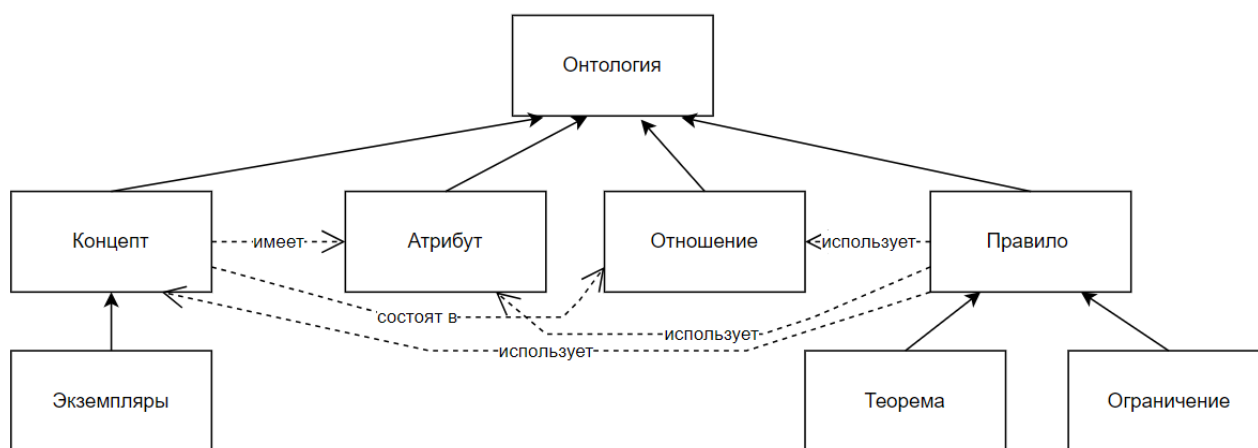


Рис. 1 – Модель онтологии

Онтология состоит из концептов, которые также называют понятия или класс. В дополнение к концептам, в онтологии присутствуют экземпляры.

Атрибуты также являются составной частью онтологии, и концепты могут использовать атрибуты. Концепт может содержать ноль или более атрибутов.

В онтологии также присутствуют отношения. Отношения описывают связи и взаимодействия между концептами.

Правила также являются частью онтологии и могут быть двух типов: теоремы и ограничения, для того чтобы описать взаимодействия, динамику того, что происходит.

Онтологический инжиниринг — это процесс создания и использования онтологий для разработки интеллектуальных систем. Он включает в себя анализ предметной области, выявление основных понятий и отношений между ними, а также формализацию и кодирование этих знаний. Он позволяет создавать более эффективные и точные

интеллектуальные системы, которые могут обрабатывать и анализировать большие объемы данных, выявлять закономерности и делать прогнозы (рис 2) [1].

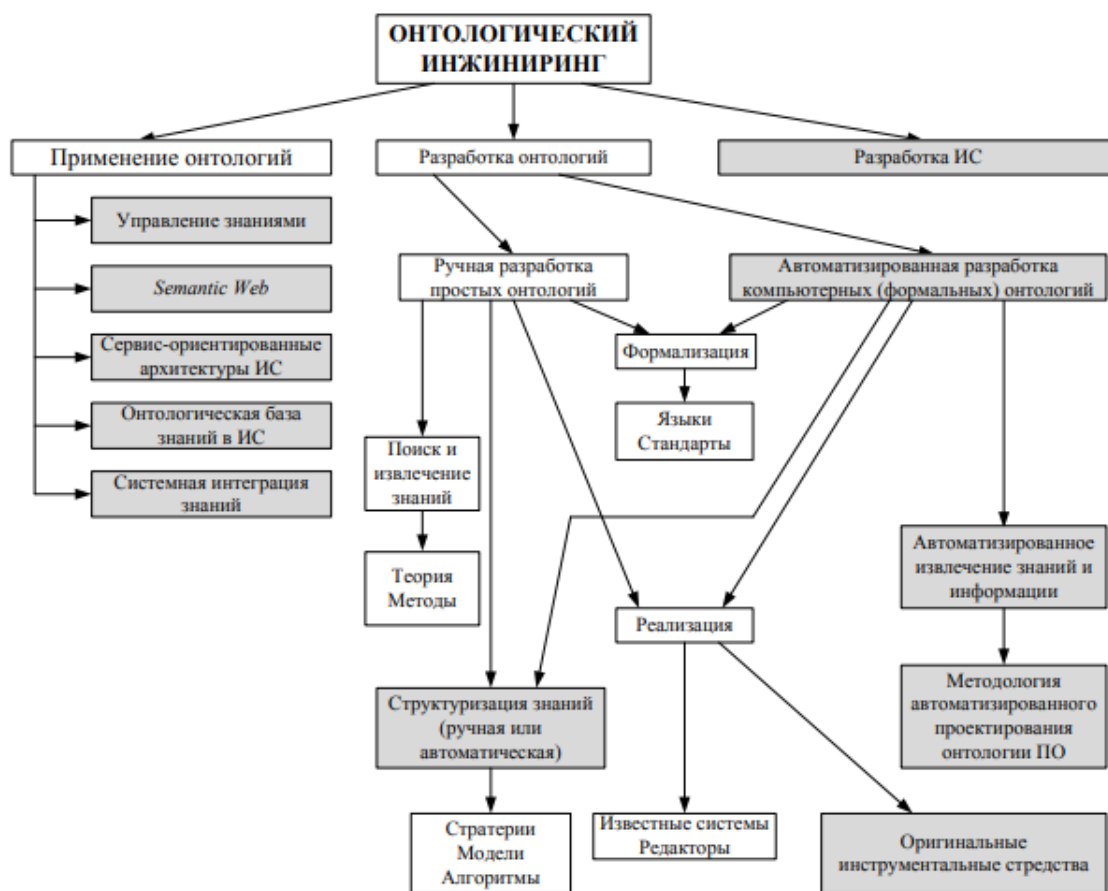


Рис. 2 – Структура онтологического инжиниринга

Рассмотрим несколько примеров применения онтологического инжиниринга в разработке интеллектуальных систем:

1. Семантический поиск и анализ информации: Онтологии могут использоваться для создания семантических моделей, которые позволяют системам понимать значения и взаимосвязи между терминами и понятиями. Это облегчает точный и контекстно-ориентированный поиск информации, а также анализ и классификацию текстов.

2. Разработка экспертных систем: Онтологии могут служить основой для создания баз знаний и правил вывода в экспертных системах. Они позволяют формализовать и структурировать экспертные знания, что облегчает автоматический вывод и принятие решений на основе этих знаний [2].

3. Интеллектуальный анализ данных: Онтологический подход может использоваться для интеграции и анализа данных из различных источников. Онтологии позволяют установить связи и семантическую совместимость между различными наборами

данных, что облегчает поиск и извлечение знаний из больших объемов данных.

4. Разработка системы вопросно-ответного типа: Онтологии могут использоваться для формализации знаний и создания ответных моделей в системах вопросно-ответного типа. Они позволяют системе понимать вопросы пользователя, анализировать контекст и предоставлять информацию или рекомендации на основе семантического понимания.

5. Разработка интеллектуальных агентов: Онтологический подход может быть использован для создания интеллектуальных агентов, которые обладают знаниями о предметной области и могут взаимодействовать с пользователями или другими системами на основе этого знания.

Онтологический инжиниринг играет важную роль в разработке интеллектуальных систем, помогая им понимать, классифицировать и использовать знания для принятия решений и выполнения задач в различных предметных областях. Он способствует созданию интеллектуальных систем, делая их более адаптивными, самостоятельными и способными понимать контекст, с которым они работают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Онтологический инжиниринг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://bigc.ru/publications/bigspb/km/ontolog_engineering.php#SD355602.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001.

ОЦЕНКА КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКА В БАНКОВСКИХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ

Симонова А.Г.¹, Симонова М.Н.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

² ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
anna_simonova@list.ru, mnsimonova@bk.ru

Аннотация. В статье раскрыта проблема оценки кредитоспособности заемщика, рассмотрены недостатки наиболее часто используемого метода скоринговой системы оценки кредитоспособности физических лиц, предлагается один из способов решения поставленной задачи с использованием методов построения деревьев решений.

Ключевые слова: метод кредитного скоринга; кредитоспособности физического лица; метод Data Mining; дерево решений; реляционная база данных; требования к структуре данных.

ASSESSMENT OF BORROWER'S CREDITWORTHINESS IN BANKING SYSTEMS USING THE METHOD OF BUILDING DECISION TREES

Simonova A.G.¹, Simonova M.N.²

¹ Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

² Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod
anna_simonova@list.ru, mnsimonova@bk.ru

Abstract. The article reveals the problem of assessing the creditworthiness of the borrower, considers the shortcomings of the most frequently used method of the scoring system for assessing the creditworthiness of individuals, proposes one of the ways to solve the problem using the methods of building decision trees.

Keywords: credit scoring method; creditworthiness of an individual; Data Mining method; decision tree; relational database; requirements for data structure.

В последние годы банковская система нашей страны переживает бурное развитие.

Новые технологии помогают банкам, инвестиционным фирмам и страховым компаниям изменить взаимоотношения с клиентами и найти новые средства для извлечения прибыли. Аналитики сходятся во мнении, что новые технологии наиболее активно внедряют инвестиционные фирмы, затем следуют банки, а самыми последними их принимают на вооружение страховые компании.

Для оценки финансового состояния заемщика – физического лица банк устанавливает единые показатели и их оптимальные значения независимо от вида кредита, его объема, срока, вида обеспечения по кредиту. Оценка финансового состояния заемщика в банке учитывает количественные и качественные показатели, которые могут в той или другой мере повлиять на выполнение заемщиком обязательств по кредиту. Определяется уровень их вероятного влияния на соблюдение условий кредитной сделки путем установления оптимальных значений и соответствующих баллов для каждого из показателей. При этом учитываются как количественные показатели (экономическая кредитоспособность), так и качественные характеристики (личная кредитоспособность) заемщика [1].

Анализ предметной области. Практически при оценке риска кредитования заемщика наиболее часто используется **метод кредитного скоринга**. Сущность этой методики состоит в том, что каждый фактор, характеризующий заемщика, имеет свою количественную оценку. Суммируя полученные баллы, можно получить оценку кредитоспособности физического лица. Каждый параметр имеет максимально возможный порог, который выше для важных вопросов и ниже для второстепенных [2].

Для адаптации скоринговой модели оценки кредитоспособности физических лиц специалисту необходимо проделывать путь, подобный тому, что проделал Дюран. Т.е., специалисты, которые будут заниматься такой адаптацией, должны быть высококвалифицированными, а значит и высокооплачиваемыми. Это должны быть такие люди, которые были бы в состоянии оценить текущую ситуацию на рынке. Результатом такого рода проделанной работы будет набор факторов с весовыми коэффициентами плюс некий порог (значение), преодолев который, человек, обратившийся за кредитом, считается способным погасить испрашиваемую ссуду плюс проценты. Полученные результаты являются по большей части субъективным мнением и, как правило, плохо подкреплены статистикой (статистически необоснованные). Как следствие всего этого, полученная модель не в полной мере отвечает текущей действительности. Финансовым результатом такого подхода будет то, что в процентной ставке кредитования, предлагаемой банком, большую долю будет занимать часть, покрывающая риск неплатежей [1].

Основные недостатки скоринговой системы оценки кредитоспособности физических лиц:

1. высокая стоимость адаптации используемой модели под текущее положение дел;
2. большая вероятность ошибки модели при определении кредитоспособности потенциального заемщика, обусловленная субъективным мнением специалиста.

Цель модернизации. Совершенствование и повышение эффективности обработки собранной в результате интервью информации, а также повышение точности принятого решения с возможностью адаптации к изменениям внешней среды с помощью применения нового метода, обработки и последующего анализа информации с применением современных средств автоматизации и ориентированного пользовательского интерфейса.

Одним из способов решения поставленной задачи является применение алгоритмов, решающих задачи классификации – задача отнесения какого-либо объекта (потенциальный заемщик) к одному из заранее известных классов (Давать/Не давать кредит). Такого рода задачи с большим успехом решаются одним из методов Data Mining – при помощи деревьев решений.

На основе данных о поведении клиентов с теми или иными характеристиками за прошлые периоды по запросу пользователя должен производиться автоматизированный анализ кредитоспособности нового потенциального заемщика. Отчеты должны содержать необходимую информацию, интересующую пользователя в удобном для него виде.

Данные хранятся в реляционной базе данных, представленной ниже на Рисунке 1.

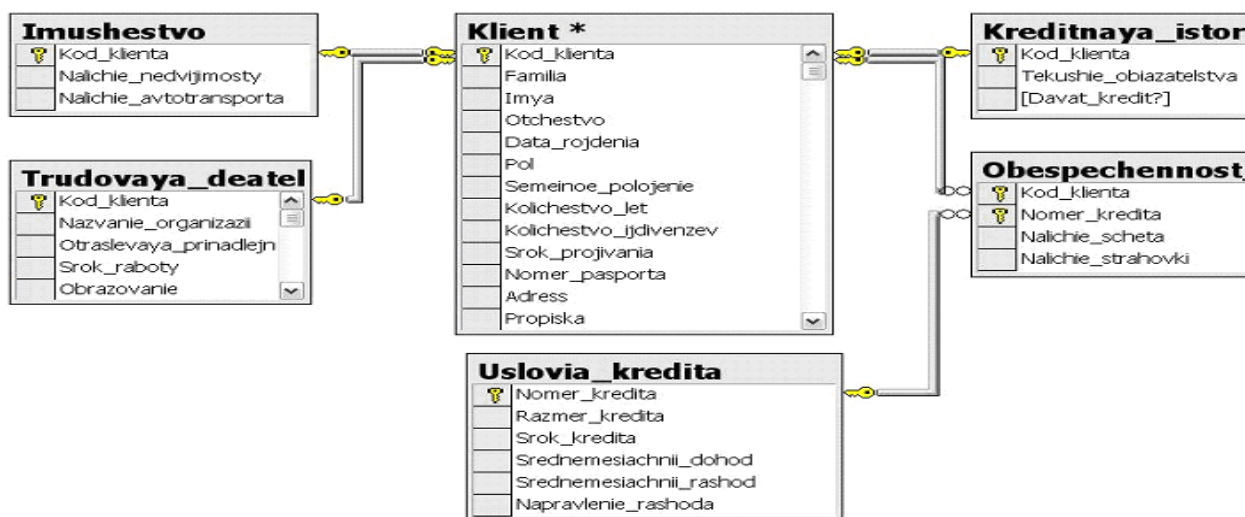


Рис. 1 – Дatalogическая модель данных

Export *	
<input type="checkbox"/>	Number
<input type="checkbox"/>	Tekushie_obiazatelstva
<input type="checkbox"/>	Naichie_strahovki
<input type="checkbox"/>	Naichie_scheta
<input type="checkbox"/>	Kolichestvo_jet
<input type="checkbox"/>	Srok_raboty
<input type="checkbox"/>	Srok_projivania
<input type="checkbox"/>	Pol
<input type="checkbox"/>	Kolichestvo_ijdivenzev
<input type="checkbox"/>	Razmer_kredita
<input type="checkbox"/>	Srok_kredita
<input type="checkbox"/>	[Davat_kredit?]
<input type="checkbox"/>	Dostovernost

Рис. 2 – Таблица Export

Одной из моделей решения поставленной задачи является применение алгоритмов, решающих задачи классификации – задача отнесения какого-либо объекта (потенциальный заемщик) к одному из заранее известных классов (Давать/Не давать кредит). Такого рода задачи с большим успехом решаются одним из методов Data Mining – при помощи деревьев решений. Деревья решений – один из методов автоматического анализа данных [2].

К преимуществам использования деревьев решений относятся:

- быстрый процесс обучения (при существенном изменении текущей ситуации на рынке, дерево можно перестроить, т.е. адаптировать к существующей обстановке);
- генерация правил в областях, где эксперту трудно формализовать свои знания;
- извлечение правил на естественном языке (правила, по которым определяется принадлежность заемщика к той или иной группе записаны на естественном языке);
- интуитивно понятная классификационная модель;
- высокая точность прогноза, сопоставимая с другими методами (статистика, нейронные сети);
- «способность к обобщению» (если возникает новая ситуация – обратился потенциальный заемщик, то, скорее всего, такие ситуации уже были и достаточно много; вследствие чего можно с большой долей уверенности сказать, что вновь обратившийся заемщик поведет себя так же, как и те заемщики, характеристики которых очень похожи на характеристики вновь обратившегося.
- построение непараметрических моделей.

В силу этих и многих других причин методология деревьев решений является важным инструментом в работе каждого специалиста, занимающегося анализом данных, вне зависимости от того практик он или теоретик.

Алгоритм построения дерева решений с обязательными требованиями к структуре данных и непосредственно к самим данным, а именно:

- **описание атрибутов.** Данные, необходимые для работы алгоритма, должны быть представлены в виде плоской таблицы. Вся информация об объектах из предметной

области должна описываться в виде конечного набора признаков. Каждый атрибут должен иметь дискретное или числовое значение. Сами атрибуты не должны меняться от примера к примеру, и количество атрибутов должно быть фиксированным для всех примеров;

– **определенные классы.** Каждый пример должен быть ассоциирован с конкретным классом, т.е. один из атрибутов должен быть выбран в качестве метки класса;

– **дискретные классы.** Классы должны быть дискретными, т.е. иметь конечное число значений. Каждый пример должен однозначно относиться к конкретному классу. Случаи, когда примеры принадлежат к классу с вероятностными оценками, исключаются. Количество классов должно быть значительно меньше количества примеров. Модель решения поставленной задачи рассмотрена в следующей статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Темнова, Н. К. Корпоративные информационные системы: учебное пособие: [16+] / Н. К. Темнова, Н. В. Рождественская, Т. В. Яковлева; Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена (РГПУ), 2022. – 160 с. URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=701301>

2. Банковский менеджмент: учебник / В. И. Абрамов, А. Ф. Барикаева, Е. И. Кузнецова [и др.]; под ред. Н. Д. Эриашвили. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юнити-Дана, 2021. – 337 с. URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=682354>

ОЦЕНКА КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКА В БАНКОВСКИХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ DATA MINING

Симонова А.Г.¹, Симонова М.Н.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

² ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
anna_simonova@list.ru, mnsimonova@bk.ru

Аннотация. В статье предлагается один из способов решения поставленной в предыдущей статье задачи с использованием методов построения деревьев решений, представлен разработанный пользовательский интерфейс.

Ключевые слова: метод Data Mining; дерево решений; критерий выбора атрибута; энтропия множества.

ASSESSMENT OF BORROWER'S CREDITWORTHINESS IN BANKING SYSTEMS USING DATA MINING TECHNOLOGIES

Simonova A.G.¹, Simonova M.N.²

¹ Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

² Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod
anna_simonova@list.ru, mnsimonova@bk.ru

Abstract. The article proposes one of the ways to solve the problem posed in the previous article using the methods of building decision trees, presents the developed user interface.

Keywords: Data Mining method; decision tree; attribute selection criterion; set entropy.

Для решения задачи оценки риска кредитования заемщика предлагается один из методов Data Mining – при помощи деревьев решений [1].

Пусть нам задано множество примеров T , где каждый элемент этого множества описывается m атрибутами. Количество примеров в множестве T называется мощностью этого множества и обозначается $|T|$. Пусть метка класса принимает следующие значения $C_1, C_2 \dots C_k$.

Задача заключается в построении иерархической классификационной модели в виде дерева из множества примеров T .

Рассмотрим подробнее критерий выбора атрибута, по которому должно пойти ветвление. Очевидно, что имеется m (по числу атрибутов) возможных вариантов, из которых необходимо выбрать самый подходящий. Любой из атрибутов можно использовать неограниченное количество раз при построении дерева.

Пусть мы имеем проверку X (в качестве проверки может быть выбран любой атрибут), которая принимает n значений $A_1, A_2 \dots A_n$. Тогда разбиение T по проверке X даст нам подмножества $T_1, T_2 \dots T_n$, при X , равном соответственно $A_1, A_2 \dots A_n$. Единственная доступная информация – то, каким образом классы распределены в множестве T и его подмножествах, получаемых при разбиении по X . Именно этим нужно воспользоваться при определении критерия[2].

Пусть $freq(C_j, S)$ – количество примеров из некоторого множества S , относящихся к одному и тому же классу C_j . Тогда вероятность того, что случайно выбранный пример из множества S будет принадлежать к классу C_j

$$P = \frac{freq(C_j, S)}{|S|} \quad (1)$$

Согласно теории информации, количество содержащейся в сообщении информации зависит от ее вероятности

$$\log_2\left(\frac{1}{P}\right) \quad (2)$$

Поскольку используется логарифм с двоичным основанием, то выражение (3) дает количественную оценку в битах.

Выражение

$$Info(T) = - \sum_{j=1}^k \frac{freq(C_j, T)}{|T|} * \log_2\left(\frac{freq(C_j, T)}{|T|}\right) \quad (3)$$

дает оценку среднего количества информации, необходимого для определения класса примера из множества T . В терминологии теории информации выражение (3) называется энтропией множества T [2].

Ту же оценку, но только уже после разбиения множества T по X , дает следующее выражение:

$$Info_X(T) = - \sum_{i=1}^n \frac{|T_i|}{|T|} * Info(T_i) \quad (4)$$

Тогда критерием для выбора атрибута будет являться следующая формула:

$$Gain(X) = Info(T) - Info_X(T) \quad (5)$$

Критерий (2.5) считается для всех атрибутов. Выбирается атрибут, максимизирующий данное выражение. Этот атрибут будет являться проверкой в текущем узле дерева, а затем по

этому атрибуту производится дальнейшее построение дерева. Т.е. в узле будет проверяться значение по этому атрибуту, и дальнейшее движение по дереву будет производиться в зависимости от полученного ответа.

Такие же рассуждения можно применить к полученным подмножествам $T_1, T_2 \dots T_n$ и продолжить рекурсивно процесс построения дерева, до тех пор, пока в узле не окажутся примеры из одного класса.

Одно важное замечание: если в процессе работы алгоритма получен узел, ассоциированный с пустым множеством (т.е. ни один пример не попал в данный узел), то он помечается как лист, и в качестве решения листа выбирается наиболее часто встречающийся класс у непосредственного предка данного листа.

Здесь следует пояснить почему критерий (5) должен максимизироваться. Из свойств энтропии известно, что максимально возможное значение энтропии достигается в том случае, когда все его сообщения равновероятны. В этом случае, энтропия (4) достигает своего максимума, когда частота появления классов в примерах множества T равновероятна. Нам же необходимо выбрать такой атрибут, чтобы при разбиении по нему один из классов имел наибольшую вероятность появления. Это возможно в том случае, когда энтропия (4) будет иметь минимальное значение и, соответственно, критерий (5) достигнет своего максимума [2].

В случае с числовыми атрибутами следует выбрать некий порог, с которым должны сравниваться все значения атрибута. Пусть числовой атрибут имеет конечное число предварительно отсортированных значений $\{v_1, v_2 \dots v_n\}$. Любое значение, лежащее между v_i и v_{i+1} , делит все примеры на два множества: те, которые лежат слева от этого значения $\{v_1, v_2 \dots v_i\}$, и те, что справа $\{v_{i+1}, v_{i+2} \dots v_n\}$. В качестве порога можно выбрать среднее между значениями v_i и v_{i+1}

$$TH_i = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \quad (6)$$

Таким образом, задача нахождения порога существенно упростилась, и теперь надо рассмотреть всего $n-1$ потенциальных пороговых значений $TH_1, TH_2 \dots TH_{n-1}$.

Формулы (3), (4) и (5) последовательно применяются ко всем потенциальным пороговым значениям и среди них выбирается то, которое дает максимальное значение по критерию (5). Далее это значение сравнивается со значениями критерия (3), подсчитанными для остальных атрибутов. Если выяснится, что среди всех атрибутов данный числовой атрибут имеет максимальное значение по критерию (5), то в качестве проверки выбирается именно он.

Применяя данный метод к поставленной задаче, строится дерево с множеством ветвей и узлами – значениями атрибутов, которое может использоваться для отнесения к одному из двух классов («Давать кредит»/«Не давать кредит») вновь обратившегося заемщика.

В случае непрохождения какого-либо этапа дерева решений, что может привести либо к полному отказу о выдаче кредитной карты, либо к сильному сокращению объема кредита, требуется дополнительный анализ данных потенциального кредитозаемщика с учетом внесения каких-либо изменений (наличие счета, срок кредита, срок проживания и т.д.).

Построение модели дерева решений происходит в соответствии с ее математическим описанием. В выбранном подмножестве определяется атрибут, который может быть числовым или нет. После обработки всех атрибутов из данного множества выбирается тот, который максимизирует значение критерия выбора. Процесс повторяется для всех подмножеств.

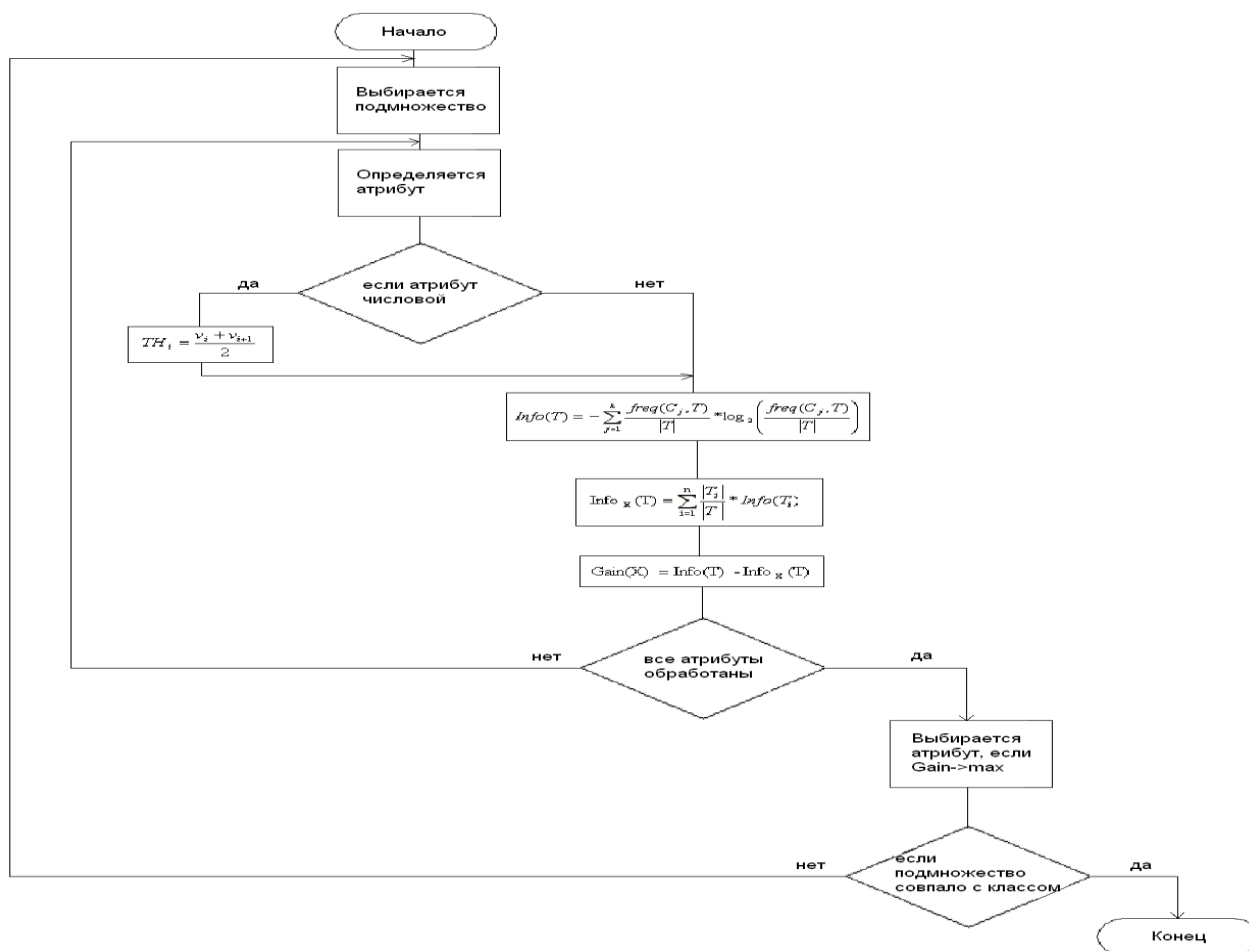


Рис. 1 – Алгоритм построения дерева решений

Основное окно приложения «Данные потенциального заемщика» имеет три закладки, в которых информация разделена на три категории: личные данные, трудовая деятельность и условия кредита [3].

Рис. 2 – Форма Личные данные

В верхней части окна расположено главное меню с функциональными кнопками. При нажатии на кнопку «Анализ» появляется окошко, которое выводит на экран решение.

Программа выдает решение, причину в случае отказа, а также рекомендации о том, какие изменения можно внести в данные, чтобы кредит был выдан. В данном случае, если клиент согласится взять кредит на меньший срок, программа после повторной обработки выдает положительное решение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы интеллектуального анализа данных (ИАД) [Электронный ресурс]:2022 – URL: <https://soware.ru/categories/data-mining-systems>).
2. Киселёв, А. Г. Теория и практика массовой информации: общество – СМИ – власть: учебник / А. Г. Киселёв. – Москва: Юнити-Дана, 2017. – 431 с.: ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?>
3. Темнова, Н. К. Корпоративные информационные системы: учебное пособие: [16+] / Н. К. Темнова, Н. В. Рождественская, Т. В. Яковлева; Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена (РГПУ), 2022. – 160 с. URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=701301>

РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАТОРА КОМПЬЮТЕРНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Симонова А.Г.¹, Симонова М.Н.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

² ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
anna_simonova@list.ru, mnsimonova@bk.ru

***Аннотация.** В статье раскрыта проблема подбора компьютерных комплектующих, позволяющая собрать более производительный компьютер, представлены трактовки понятия подбора с помощью конфигуратора и экспертной системы. Рассмотрены недостатки существующего процесса подбора в ручном режиме.*

Ключевые слова: конфигуратор; база данных; экспертная система; подбор; компоненты.

DEVELOPMENT OF A CONFIGURATOR OF COMPUTER COMPONENTS WITH ELEMENTS OF AN EXPERT SYSTEM

Simonova A.G.¹, Simonova M.N.²

¹ Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

² Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod

***Abstract.** The article reveals the problem of selecting computer components that allows you to assemble a more productive computer, presents interpretations of the concept of selection using a configurator and an expert system. The shortcomings of the existing process are considered.*

Keywords: configurator; database; expert system; selection; components.

В современном мире трудно представить офис без такого инструмента как персональный компьютер.

На рынке компьютерных комплектующих представлен огромный ассортимент, позволяющий собрать более производительный компьютер дешевле чем стоит готовый. Но

для этого необходимо изучить принцип работы деталей и их параметры, так как далеко не все компоненты совместимы и могут работать в связке [1].

К недостаткам существующего процесса относятся:

- потеря времени из-за изучения и сравнения характеристик комплектующих;
- возможен выбор несовместимых компонентов в связи с недостатком опыта;
- некоторые компоненты могут быть неоправданно дорогими, при недостатке опыта, есть высокая вероятность переплатить за то, что не нужно,
- отсутствие у сотрудников чёткого понимания какие компоненты для определенной задачи являются более приоритетными;
- сложность в определении преимуществ компонента для определенной сферы применения ПК.

Решением всех ранее указанных недостатков может стать система в виде десктопного приложения для ОС Windows.

Для эффективной разработки системы, включающей конфигуратор и экспертную систему необходимо начать с разработки базы данных [2].

Структура связей между таблицами БД показана на (рис. 1.)

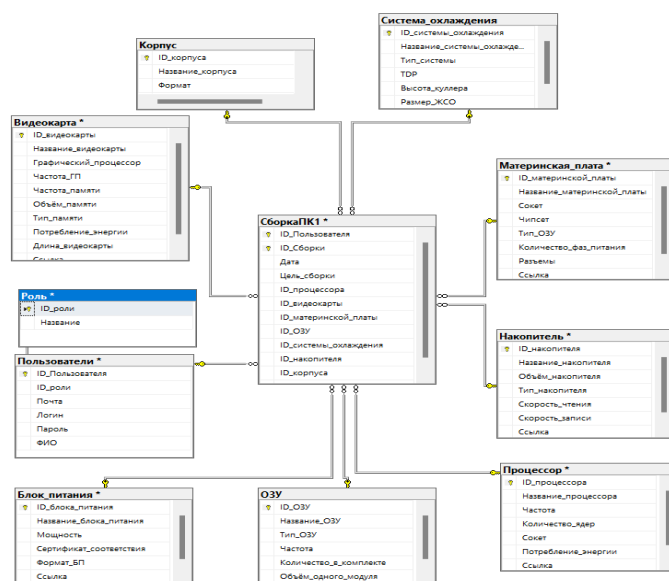


Рис. 1 – Структура связей между таблицами БД

Для информационной системы разработаны алгоритмы работы элементов системы, работы пользователей и администраторов [3].

Одной из главных страниц пользователя является страница – сборка при помощи экспертной системы, на ней пользователь выбирает параметры, которым должен соответствовать ПК, далее система сама подберёт набор комплектующих соответствующих

требованиям пользователя и совместимости компонентов [2]. Алгоритм работы пользователя представлен на(рис.2).

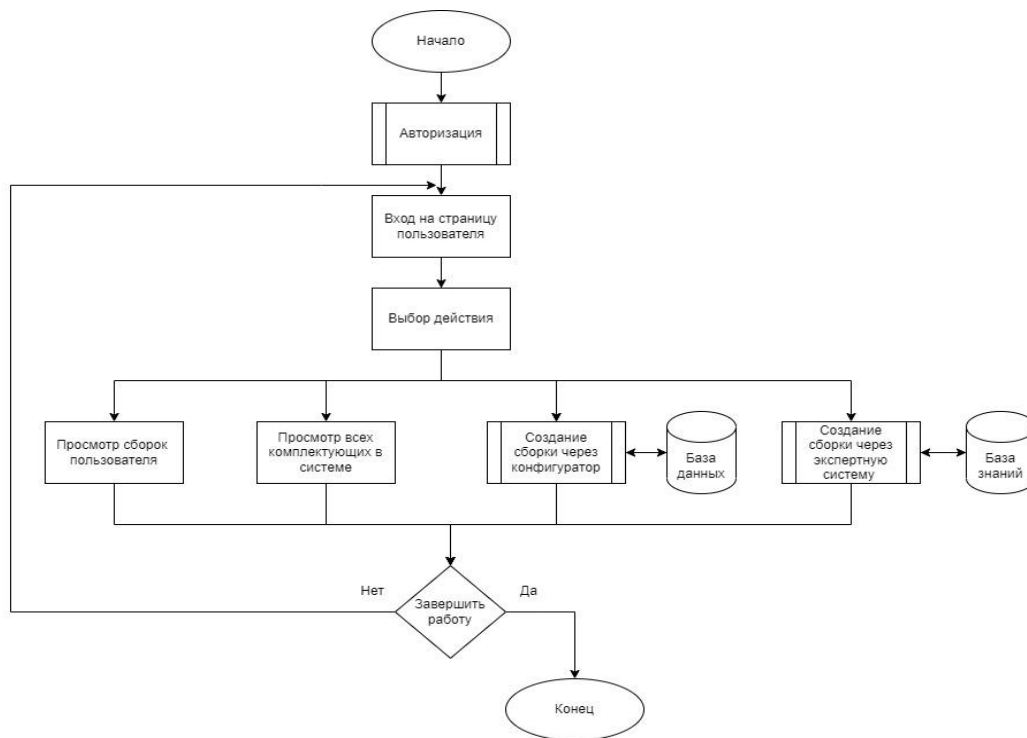


Рис. 2 – Алгоритма работы пользователя в системе

Сборка ПК пользователем с помощью экспертной системы заключается в выборе критериев, которым должна соответствовать сборка. В случае если система не нашла сборку или пользователь допустил ошибку в указании параметров, он может указать критерии заново. Алгоритм представлен на (рис. 3).

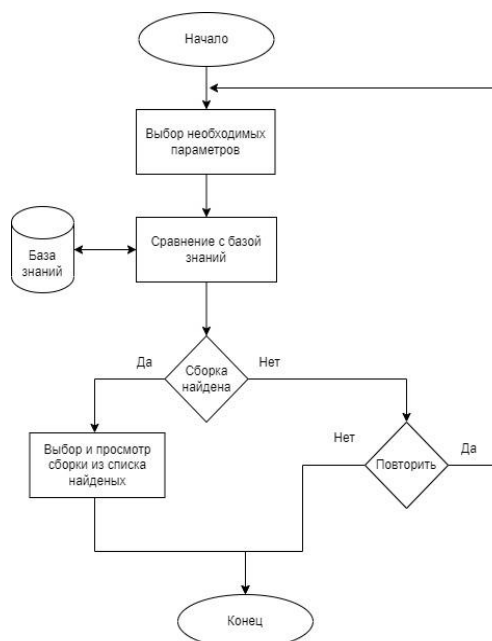


Рис. 3 – Алгоритм работы экспертной системы

Составление сборки через конфигуратор включает в себя несколько этапов, после перехода на страницу пользователь может начать составление сборки, для этого необходимо выбрать первый элемент, для которого будут определены компоненты, подходящие к нему по ряду параметров. Выбрав элемент, пользователь может продолжить сборку или сохранить тот список элементов, который его устраивает.

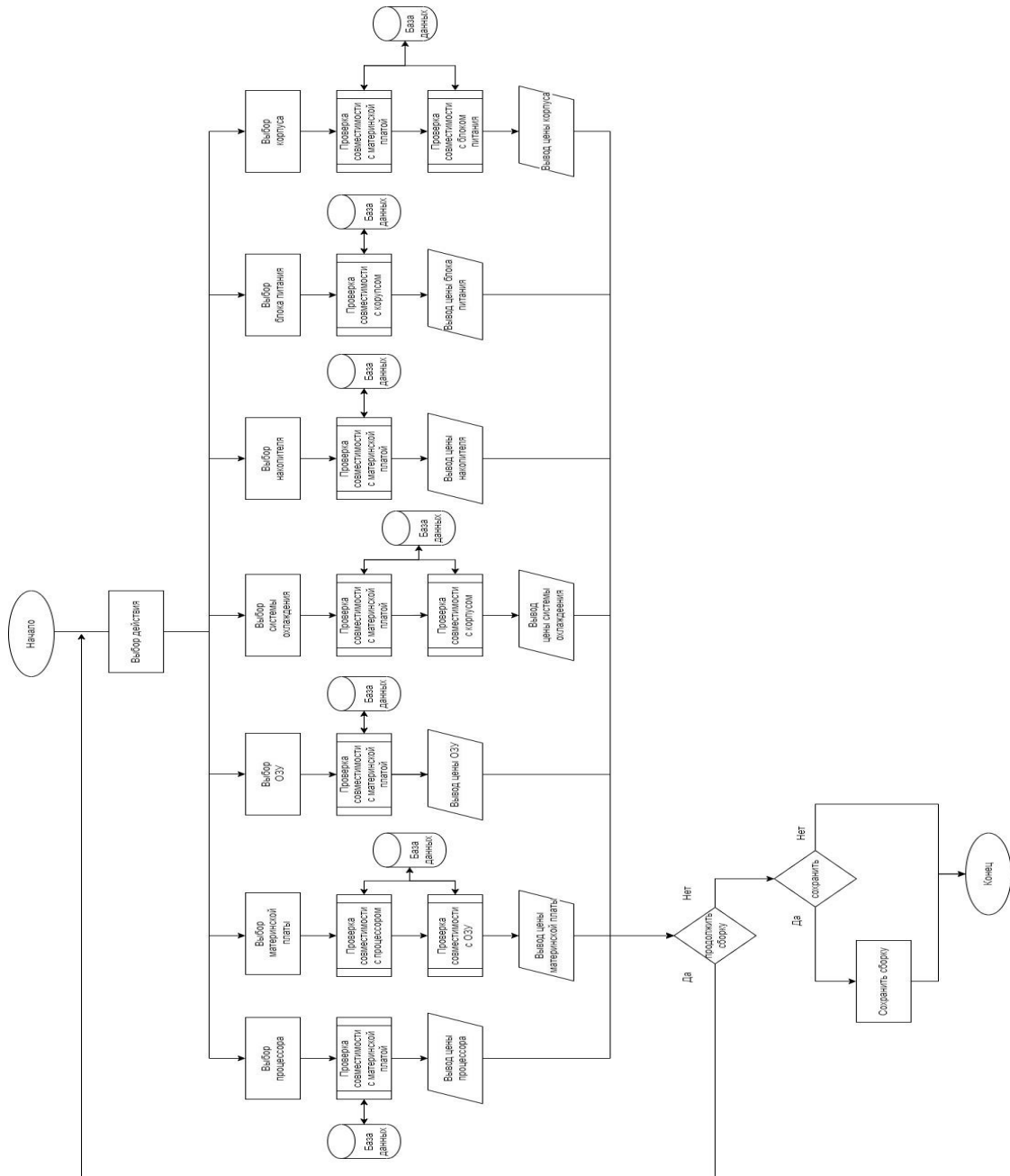


Рис. 4 – Алгоритм работы с конфигуратором

Также к важным к важным плюсам относится масштабируемость, что позволит адаптироваться к резкому изменению показателей задач и повышению требований. На

«Главной странице» находится блок информации со всеми сборками пользователя, а также опции для перехода в разделы пользователя.

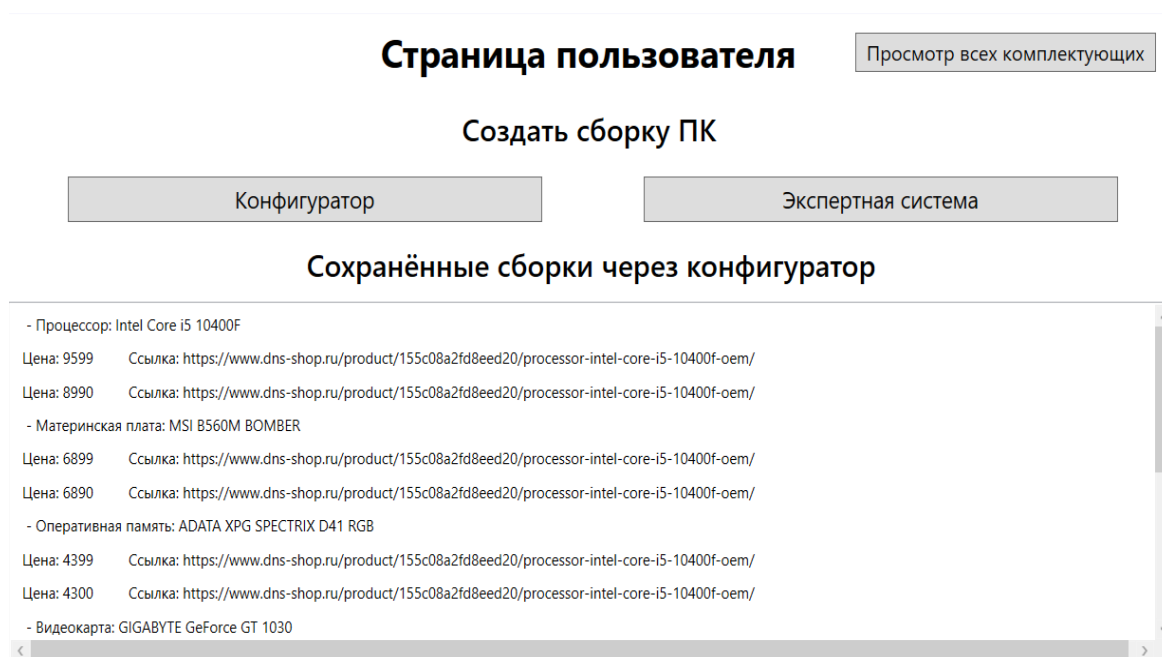


Рис. 5 – Главная страница пользователя

Внедрение информационной системы позволит за счет автоматизации подбора комплектующих увеличить количество клиентов, пользующихся услугами компании, а значит и ее прибыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление данными : учебник / Ю. Ю. Громов, О. Г. Иванова, А. В. Яковлев, В. Г. Однолько ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2015. – 192 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php>
2. Информационные технологии : учебник / Ю. Ю. Громов, И. В. Дидрих, О. Г. Иванова [и др.] ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2015. – 260 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php>
3. Схиртладзе, А.Г. Проектирование единого информационного пространства виртуальных предприятий : учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Скворцов, Д.А. Чмырь. – Изд. 2-е, стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2017. – 617 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469047>

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЧИСЛА ЗЕРЕН В КУКУРУЗНОМ ПОЧАТКЕ

Смирнов Д.А., Цыганков Ю.А., Полещенко Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
dima2023056d@mail.ru, tsy-18@yandex.ru, po-dima@yandex.ru*

***Аннотация.** В статье представлена разработка нейросетевой модели для подсчета количества зерен в початке кукурузы с целью совершенствования текущих систем прогнозирования урожайности. Данная разработка автоматизирует процесс подсчета числа зерен в початке кукурузы, что в значительной степени упрощает дальнейшую процедуру прогнозирования.*

Ключевые слова: сельскохозяйственная отрасль; цифровизация; нейронная сеть; машинное обучение; интеллектуальная система.

DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK MODEL FOR COUNTING THE NUMBER OF GRAINS IN A CORN COB

Smirnov D.A., Tsygankov Y.A., Poleshchenko D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The paper presents the development of a neural network model for counting the number of grains in a corn cob in order to improve current yield forecasting systems. This development automates the process of counting the number of grains in a corn cob, which greatly simplifies the further forecasting procedure.*

Keywords: agricultural industry; digitalization; neural network; machine learning; intelligent system.

В данной работе рассматривается возможность распознавания количества зерен в початке кукурузы. Для этой задачи были рассмотрены различные нейронные сети, доступные в открытом доступе. Использовался набор изображений с разметкой, содержащий 313 изображений початков кукурузы и 3 класса: верхняя часть початка без зерен, пораженное

зерно и целое зерно [1]. В качестве модели машинного обучения была выбрана YOLOv5, которая является самой быстрой и точной моделью обнаружения объектов в настоящее время [2,3].

Результаты исследования [4] показали, что модель YOLOv5 превосходит двухступенчатый подход Faster R-CNN как по скорости и эффективности использования памяти, так и по точности результатов. Более того, YOLOv5 превосходит также другие модели, например, EfficientNet-b1.

Важным преимуществом YOLOv5 является то, что она работает непосредственно с исходными изображениями, не требуя оконного подхода, что делает ее более эффективной по памяти и производительности. Также было отмечено, что YOLOv5 основывается на оценке плотности и показывает хорошие результаты по соответствию и точности оценки числа и узкого количества объектов, превосходя лучшую модель Faster R-CNN. Она также может обнаруживать наименьшие зерна на боковых сторонах початка кукурузы.

Результаты работы [5] позволяют сделать вывод, что модель YOLOv5 является оптимальным выбором для оценки плотности числа зерен на початках кукурузы, так как она демонстрирует лучшие результаты по точности, скорости и использованию памяти по сравнению с другими моделями, включая подход Faster R-CNN.

Обучение производилось с использованием различных значений гиперпараметров. Соотношение изображений при обучении:

- Размер обучающей выборки равен 75%.
- Размер валидационной выборки равен 15%.
- Размер тестовой выборки равен 10%.

Результаты обучения модели представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Обучение модели yoloV5 на начальном датасете

№	Параметры датасета	Параметры обучения					
	Img size	Img size	Epoch	Batch	Weights	GPU mem	Time training
1	640*640	640	100	8	yoloV5x	8.98 G	2.6 h
2	320*320	320	50	4	yoloV5s	0.49 G	1.3 h
3	1920*1440	1280	50	8	yoloV5m6	13.9 G	1.4 h
4	640*640	640	50	16	yoloV5x	13.8 G	1.3 h
5	640*640	640	100	32	yoloV5m	14.3 G	2.4 h
6	1920*1440	1280	25	8	yoloV5m6	12.6 G	0.863 h

Для оценки качества обучения были использованы метрики: map0.5, map0.5:0.95, precision, recall.

Для оценки точности распознавания объектов была использована формула:

$$\text{Общий процент} = \frac{\sum \left(\frac{\text{количество обнаруженных объектов на изображении}}{\text{общее количество объектов на изображении}} * 100 \right)}{\text{количество изображений}}$$

Результаты тестирования модели представлены в таблице 2.

Наилучший результат, полученный при использовании начального датасета равен 95,4% распознанных объектов на изображениях из тестовой выборки.

Таблица 2 – Результаты тестирования модели yolov5 на начальном датасете

№	%	Метрики оценки качества обучения									
		Map 0.5				Map 0.5:0.95				precision	recall
		all	BT	DK	K	all	BT	DK	K	all	BT
1	92.21	0.23	0.353	0.070	0.726	0.141	0.223	0.0372	0.443	0.8	0.22
2	33.4	0.043	0	0.016	0.2	0.012	0	0.003	0.058	0.868	0.037
3	95.4	0.213	0.267	0.014	0.785	0.136	0.178	0.01	0.489	0.955	0.19
4	92.4	0.216	0.274	0.018	0.79	0.129	0.175	0.08	0.45	0.96	0.18
5	93.47	0.215	0.272	0.016	0.78	0.128	0.174	0.09	0.44	0.95	0.178
6	80	0.176	0.077	0.01	0.792	0.108	0.04	0.008	0.488	0.928	0.16

Анализ полученных результатов показал, что низкие значения метрик оценки качества обусловлены размером датасета. В начальном датасете представлено недостаточное количество изображений, для получения наилучшего результата для каждого класса.

Для получения наилучшего результата обнаружения количества зерен в початке кукурузы в начальный датасет были добавлены новые размеченные изображения. Количество классов было уменьшено до 1 (зерно). Итоговое количество изображений модифицированного датасета составило 589.

В качестве модели для обучения рассмотрели новую модель yolov8. На данный момент для обучения нейронной сети с использованием модели yolov8 возможно только при использовании изображений в формате 640x640.

Обучение производилось с использованием различных гиперпараметров с использованием модели yolov5 и новой модели yolov8 [4].

Результаты обучения моделей yolov5 и yolov8 на модифицированном датасете представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Обучение моделей yolov5 и yolov8 на модифицированном датасете

№	Параметры датасета	Параметры обучения					
	Img size	Img size	Epoch	Batch	Weights	GPU mem	Time training
7	1920*1440	1280	50	8	yolov5m6	13.8 G	1.9 h
8	1920*1440	1280	50	16	yolov5s6	12.6 G	1.83 h
9	640*480	640	50	16	yolov5x	14 G	1.4 h
10	1920*1440	1280	25	8	yolov5m6	13.8 G	0.828 h
11	1920*1440	640	10	8	yolov8n	6-11 G	0.14 h
12	1920*1440	640	10	8	yolov8s	7-12 G	0.14 h
13	1920*1440	640	50	8	yolov8x	9-12 G	1.25 h
14	1920*1440	1280	50	4	yolov5x6	14 G	2.1 h
15	1920*1440	1280	50	4	yolov5x6	14.2 G	2.04 h
16	1920*1440	1280	75	8	yolov5m6	13.8 G	2.358 h

Результаты тестирования обученных моделей yolov5 и yolov8 на модифицированном датасете представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты тестирования модели yolov5 на модифицированном датасете

№	%	Метрики оценки качества обучения									
		Map 0.5				Map 0.5:0.95				precision	recall
		all	BT	DK	K	all	BT	DK	K	all	BT
7	97.13	0.805	-	-	0.805	0.521	-	-	0.521	0.911	0.716
8	94.18	0.785	-	-	0.785	0.478	-	-	0.478	0.891	0.694
9	93.76	0.683	-	-	0.683	0.407	-	-	0.407	0.813	0.567
10	95.12	0.789	-	-	0.789	0.49	-	-	0.49	0.9	0.695
11	70	0.656	-	-	0.656	0.365	-	-	0.365	0.78	0.566
12	65	0.711	-	-	0.711	0.42	-	-	0.42	0.849	0.605
13	69	0.795	-	-	0.795	0.53	-	-	0.53	0.921	0.695
14	98.2	0.82	-	-	0.82	0.558	-	-	0.58	0.938	0.72
15	97.91	0.818	-	-	0.818	0.563	-	-	0.563	0.935	0.724
16	97.43	0.813	-	-	0.813	0.554	-	-	0.554	0.933	0.717

Наилучший результат, полученный при использовании модифицированного датасета равен 98,2% распознанных объектов на изображениях из тестовой выборки.



Рис. 1 – Распознавание количества зерен в початке кукурузы

Анализ полученных результатов, позволяет сделать следующие выводы:

1. Процент обнаруженных объектов увеличился при использовании модифицированного датасета.
2. Начальные веса существенно влияют на значение процента обнаруженных объектов.
3. Нейронная сеть достигает максимальных результатов на модифицированном датасете в течение 50 эпох обучения.
4. Большой размер batcha уменьшает значение точности распознавания объектов.
5. Уменьшение количество классов с 3 до 1 не повлияло на значение точности распознавания объектов, так как значение метрики mAP для класса зерно изменилось менее чем на 10%.

В ходе исследования было выявлено, что модель YOLOv5 является лучшим выбором для данной задачи, так как обеспечивает лучшие результаты с точки зрения точности, скорости и использования памяти по сравнению с другими моделями, включая подход Faster R-CNN.

Разработка интеллектуальной системы позволит в режиме онлайн определять количество зерен и их качество в початке, сохранять данную информацию в базу данных,

чтобы в дальнейшем агроном мог определить наилучший сорт кукурузы, благодаря которому улучшится качество урожая и повысится эффективность выращивания кукурузы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Corn Kernel Counting Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://registry.opendata.aws/intelinair_corn_kernel_counting (дата обращения: 15.10.2023г.).
2. Ultralytics yolov5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://github.com/ultralytics/yolov5> (дата обращения: 15.10.2023г.).
3. Ultralytics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (дата обращения: 30.10.2023г.).
4. Hobbs J., Khachatryan V., Anandan B. S., Hovhannisyan H., Wilson D. Broad Dataset and Methods for Counting and Localization of On-Ear Corn Kernels // *Frontiers in Robotics and AI*. Vol. 8: 627009. 2021. DOI:10.3389/frobt.2021.627009
5. Orandi G., Calvini R., Foca G., Ulrici A. Automated quantification of defective maize kernels by means of multivariate image analysis // *Food Control*. Vol. 85. 2018. Pp.259–268.

О КОРРЕЛЯЦИИ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ И ВИБРОУСКОРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЕЕ БАРАБАНА

Соколов Д.И., Полещенко Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
newgfsdima@gmail.com, po-dima@yandex.ru*

***Аннотация.** В данной работе приведены результаты беспроводного съема сигнала виброускорения с поверхности барабана шаровой мельницы. Установлено, что с увеличением нагрузки шаровой мельницы уменьшается общий уровень сигнала вибрации поверхности ее барабана.*

Ключевые слова: шаровая мельница; беспроводной съем сигнала; виброускорение; контроль загрузки мельницы.

ON THE CORRELATION OF THE DEGREE OF FILLING OF A BALL MILL AND VIBRATION ACCELERATION OF ITS DRUM SURFACE

Sokolov D.I., Poleshenko D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This paper presents the results of wirelessly capturing a vibration acceleration signal from the surface of a ball mill drum. It has been established that with increasing load of the ball mill, the overall level of the vibration signal of the surface of its drum decreases.*

Keywords: ball mill; wireless signal acquisition; vibration acceleration; mill loading control.

В процессах обогащения железных руд широко применяются барабанные шаровые мельницы для их измельчения. Дробящей средой в них являются твердые мелющие шары, которые при вращении мельницы поднимаются на определенную высоту и измельчают руду за счет трения и ударов при падении. Из-за колебаний свойств исходной руды возможен перегруз мельницы, в результате чего их вынуждены останавливать для разгрузки. В тоже время при недостаточной степени загрузки руды снижается эффективность работы шаровой

мельницы. Таким образом контроль и управление уровнем заполнения мельницы является важной и весьма сложной с точки зрения технической реализации задачей [1].

Существуют различные способы определения степени загрузки мельниц: виброакустический анализатор шума (звука) мельницы ВАЗМ [2], радиоизотопный анализатор заполнения РИЗМ [3], анализ сигнала активной мощности [4], потребляемой синхронным двигателем мельницы, анализ сигнала виброускорения подшипников на цапфе мельницы [5], анализ момента на валу мельницы [6]. Во всех этих методах используется косвенное измерение требуемого параметра.

Однако практические эксперименты, описанные в работах [7-8], показывают значительное влияние рабочего процесса соседних агрегатов на характер измеряемого сигнала вибрации, которое создает существенные искажения сигнала, практически не поддающиеся анализу. Сигнал виброускорения поверхности барабана мельницы по мнению авторов работы [9] является наиболее помехозащищенным.

В данной работе для определения степени заполнения шаровой мельницы было разработано устройство, которое может устанавливаться на барабане мельницы и по беспроводному интерфейсу передавать данные с датчика виброускорения.

Для измерения уровня вибрации был выбран вибропреобразователь AP2037, характеризующийся высокой устойчивостью к внешним электромагнитным полям, наличием встроенного предусилителя и широкого диапазона частоты измерения.

Было создано устройство и установлено на действующую модель мельницы и на ней были проведены следующие эксперименты:

- в барабан было загружено 8 кг шаров, что составляет порядка 50% её заполнения, что соответствует режиму работы реальной мельницы [11];

- к шаровой нагрузке в барабан мельницы было последовательно загружено по 0.5 кг материала для измельчения.

В результате съёма сигнала виброускорения были получены сигналы, представленные на рис. 1.

На общем уровне сигнала видно, что с увеличением нагрузки шаровой мельницы уменьшается общий уровень сигнала вибрации.

С помощью разработанного программного обеспечения данные были обработаны с помощью фильтра скользящего среднего (см. рис. 2):

$$\hat{y}_t = \frac{1}{p} \sum_{j=t-m}^{t+m} y_j$$

где y – входной сигнал, p – количество элементов, m – размер окна равный 2680 измерений виброускорения.

Данные (ацп / время (млс))

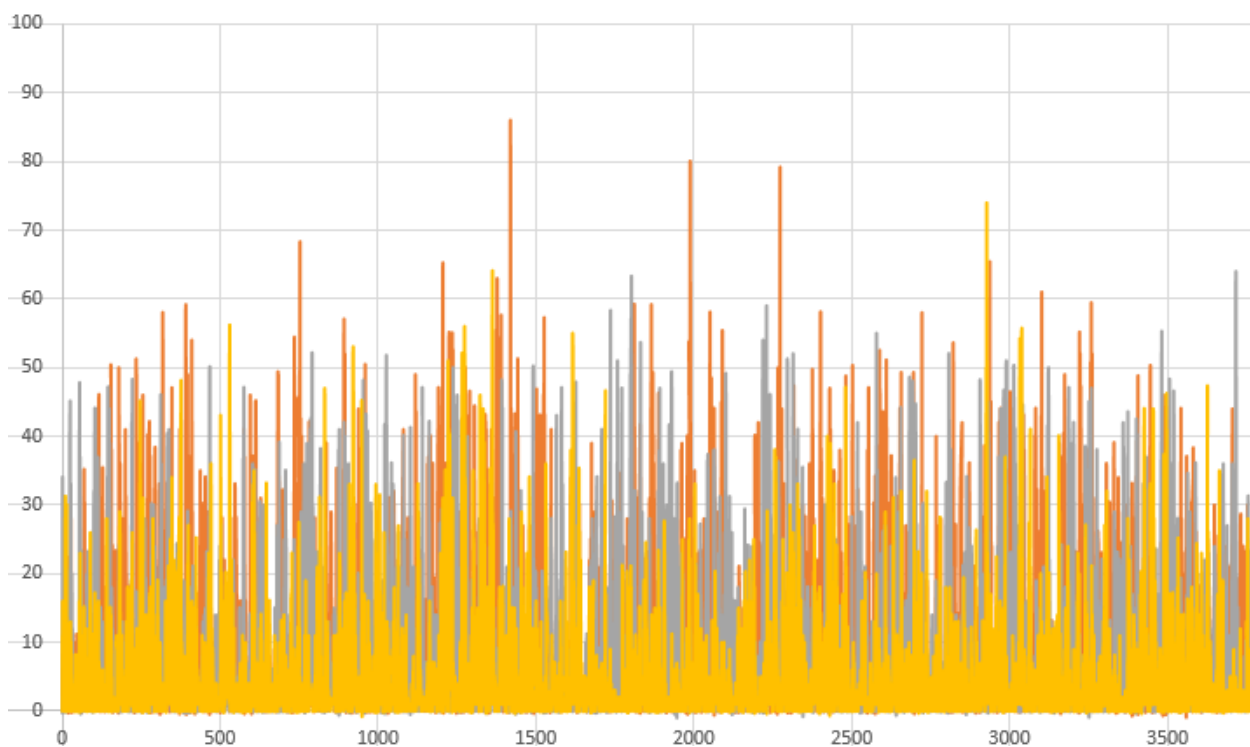


Рис. 1 – Результаты снятия сигнала с вибропреобразователя с различной степенью заполнения шаровой мельницы, где оранжевый – 50% заполнения шарами + 0.5 кг материала для измельчения, серый – 50% заполнения шарами + 1 кг материала для измельчения, желтый – 50% заполнения шарами + 1.5 кг материала для измельчения.

Данные (ацп / время (млс))

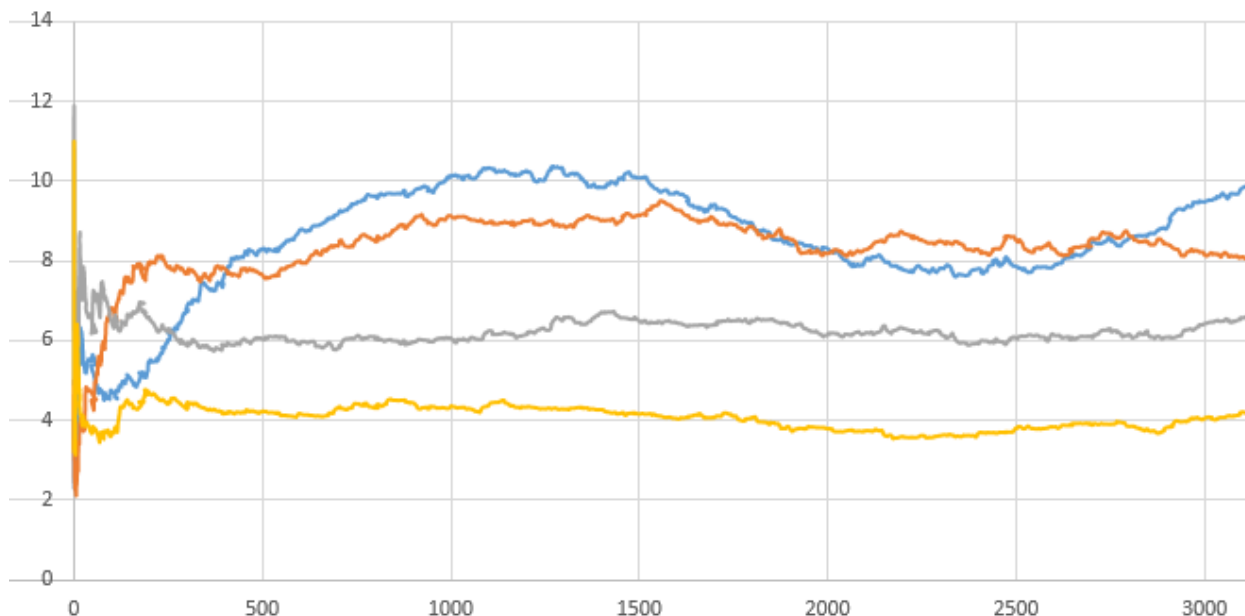


Рис. 2 – Обработанный сигнал с вибропреобразователя, где синий – 50% заполнения шарами, оранжевый – 50% заполнения шарами + 0.5 кг материала для измельчения, серый – 50% заполнения шарами + 1 кг материала для измельчения, желтый – 50% заполнения шарами + 1.5 кг материала для измельчения.

По результатам опытов видно, что с увеличением загрузки шаровой мельницы средний уровень амплитуды сигнала стал более равномерным. Четко видна корреляция между уровнем загрузки мельницы измельчаемым материалом и амплитудой сигнала виброускорения ее поверхности. Максимальная вибрация создается при заполнении барабана только шарами, а далее по мере загрузки вибрация падает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полещенко Д.А., Боровинских М.Д, Повышение эффективности работы шаровой мельницы путем совместного использования наблюдателя состояний и экстремального регулятора // Инженерный вестник Дона, 2022, №11, URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7964/.
2. Улитенко К.Я., Маркин Р.П., Соколов И.В. Виброакустический анализ процессов дробления и измельчения на горно-обогатительных предприятиях // Горный журнал. 2009. №10. С. 72-76.
3. Гейзенблазен Б.Е., Л.Т. Лорман, М.Н. Левченко Разработка и исследования радиоизотопного измерителя заполнения мельниц мокрого самоизмельчения // Обогащения руд. 1978. №2. С. 38-41.

4. Тараненко М.Е. Разработка системы управления загрузкой мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» на основе контроля вибрации подшипниковых узлов // Инженерный вестник дона. 2023. №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8328.
5. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Пожарский Ю.М. О возможности определения уровня загрузки шаровой мельницы в результате нейросетевого анализа спектра сигнала виброускорения ее цапфы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. №216. С. 38-47.
6. Жуковский Ю.Л., Королев Н.А. Н., Малькова Я.М. Мониторинг состояния измельчения в барабанных мельницах по результирующему моменту на валу // Записки горного института. 2022. №256. С. 686-700.
7. Полещенко Д.А. Опыт промышленной эксплуатации автоматизированной системы мониторинга уровня заполнения шаровой мельницы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №12. С. 153-160.
8. Пожарский Ю.М., Полещенко Д.А., Подковыров И.Ю. Определение степени заполнения мельницы мокрого самоизмельчения с применением беспроводных технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №2. С. 38-47.
9. K. Gugel, G. Palacios, J. Ramirez, & M. Parra Improving ball mill control with modern tools based on digital signal processing (DSP) technology // Cement Industry Technical Conference, 2003. Conference Record. IEEE-IAS/PCA 2003. – IEEE, 2003. – С. 311-318. Poleshchenko D.A.
10. Синютин Е.С., Беляев А.О. Формирование структуры интегрального входного аналогового тракта для интеллектуального датчика вибрации // Инженерный вестник дона. 2015. №2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3057>.
11. Амосов Е. А. Модель определения оптимального заполнения шаровой мельницы // Современные материалы, техника и технологии. 2020. №4. С. 4-9.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРВОПРИВОДА 5-ОЙ ОСИ МАНИПУЛЯТОРА

Станкевич В.Е.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
г. Старый Оскол, Россия, st_vladislav2000@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрено исследование двигателя сервопривода 5-ой оси робота-манипулятора. Измерены и посчитаны физические параметры двигателя. После получения всех необходимых параметров было произведено моделирование ДПТ с постоянными магнитами в MATLAB Simulink. Сравнили математическую и реальную модель двигателя.

Ключевые слова: пятизвенный робот-манипулятор; сервопривод; двигатель постоянного тока.

INVESTIGATION OF THE SERVO DRIVE OF THE 5TH AXIS OF THE MANIPULATOR

Stankevich V.E.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. This article examines the study of the servo motor of the 5th axis of the robot manipulator. The physical parameters of the engine were measured and calculated. After obtaining all the necessary parameters, the DC motor with permanent magnets was simulated in MATLAB Simulink. We compared the mathematical and real engine model.

Keywords: five-link manipulating robot; servo drive; DC motor.

Робототехника – это наука, занимающаяся разработкой автоматизированных систем, являющихся основой развития производств. Данная наука опирается на такие дисциплины как электроника, механика, кибернетика, информатика, радиотехника, электротехника. Робототехника была реализована в строительстве, быту, медицине, авиации и т. д.

Чтобы классифицировать роботов можно использовать множество подходов к примерам по сфере применения, способу передвижения и т. д. Одним из важнейших классов роботов широкого назначения – манипуляторы.[2]

Манипулятор – это механизм, предназначенный для управления положением объектов и орудий труда. Растущая потребность в снижении эксплуатационных расходов на предприятиях является причиной широкого применения манипуляторов. Снижение расходов может быть достигнуто за счет уменьшения ошибок в производственном процессе, потерь сырья и количества несчастных случаев, повышения технологической гибкости и производительности предприятия, улучшения условий труда и степени безопасности сотрудников. [4]

В СТИ НИТУ «МИСИС» была разработана рука-манипулятор на 6 степеней свободы (рисунок 1).



Рис. 4 – Модель руки-манипулятора

Один из суставов позволяет вращать кистью манипулятора (рис 1) на 180 градусов, что позволяет разворачивать предметы. Человек-оператор с помощью специальной перчатки может вращать кистью манипулятора. Кисть манипулятора будет повторять вращения, которые были совершены рукой с перчаткой.

Перчатка оснащена специальным датчиком положения, который положение руки. С помощью IMU-сенсора, перчатка определяет в какую сторону и на сколько градусов была повёрнута рука. Благодаря NRF24 осуществлена дистанционная передача данных с платы Arduino на перчатке на плату, которая управляет манипулятором.

Микроконтроллер, который управляет роботизированной рукой, получает данные с перчатки, обрабатывает их и устанавливает вал сервопривода в нужное положение.

Для управления кисти робота используется сервопривод модели MG996R. Он вращает кисть манипулятора на 180 градусов. Сервопривод состоит из двигателя постоянного тока, потенциометра, платы управления. [3]

В MATLAB разработана модель работы электродвигателя. С помощью мультиметра было измерено сопротивление обмоток якоря, которое составило 2.8 Ом. Так же была измерена индуктивность обмоток, которая составила 840 мкГн. С помощью энкодера было выяснено, что на один оборот вала двигателя требуется 37 мс, при $U=1$ В. Значение номинального напряжения и силы тока были взяты из справочных данных и они равны 5 В и 0.17 А.

С помощью формулы (1) находим значение угловой скорости.

$$\omega = \frac{T}{2\pi} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{37 \cdot 10^{-3}}{2\pi} = 169,8156 \text{ рад/с}$$

По формуле (2) находим кФ.

$$k\Phi = \frac{U}{\omega} \quad (2)$$

$$k\Phi = \frac{1}{169,8156} = 0.0059$$

Найдем момент М по формуле (3).

$$M = k\Phi \cdot I_{\text{НОМ}} \quad (3)$$

$$M = 0.0059 \cdot 0.17 = 0.001 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

После получения всех необходимых параметров было произведено моделирование ДПТ с постоянными магнитами в MATLAB Simulink. [1]

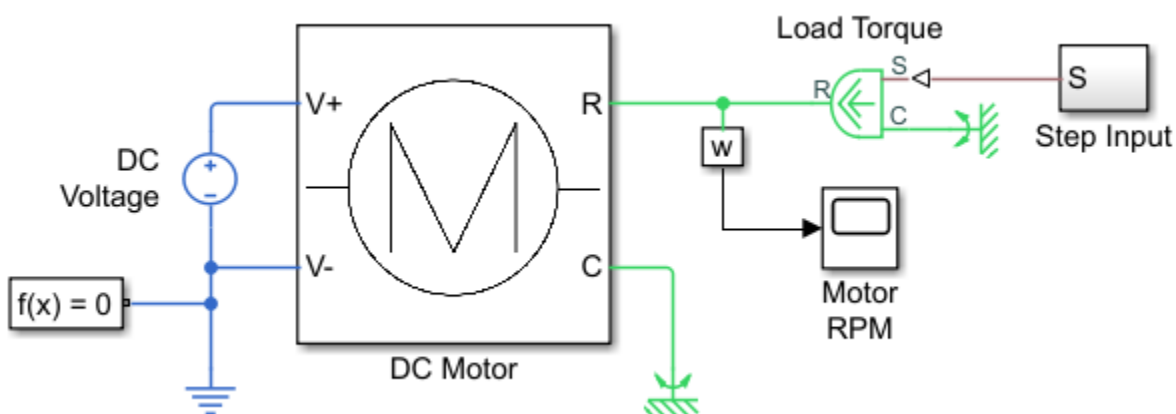


Рис. 2 – Модель ДПТ с постоянными магнитами

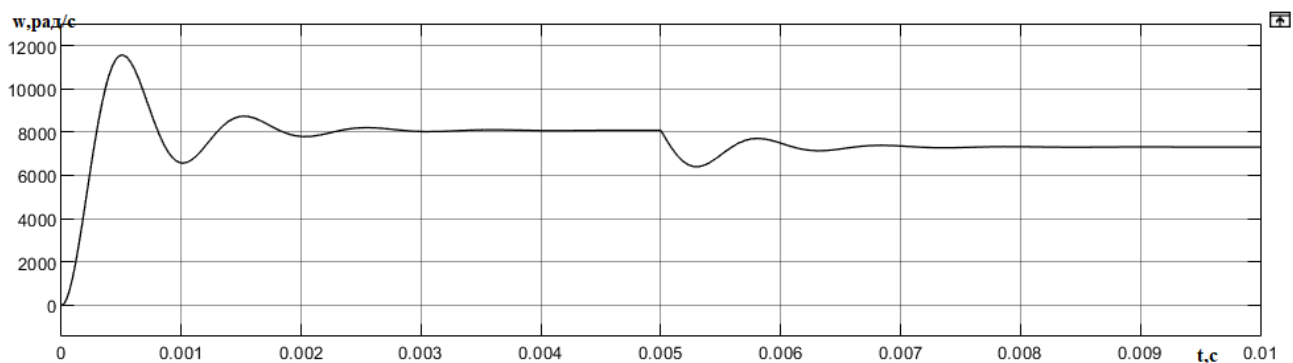


Рис. 3 – График скорости двигателя

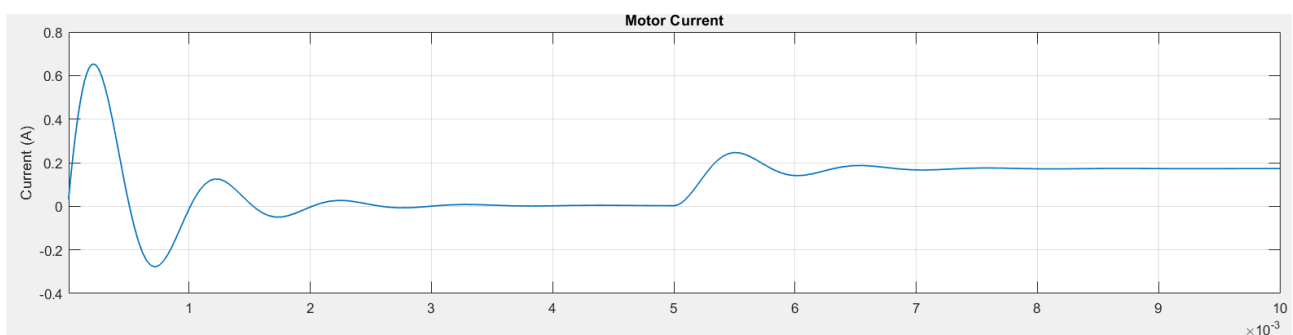


Рис. 4 – График времятоковой характеристики

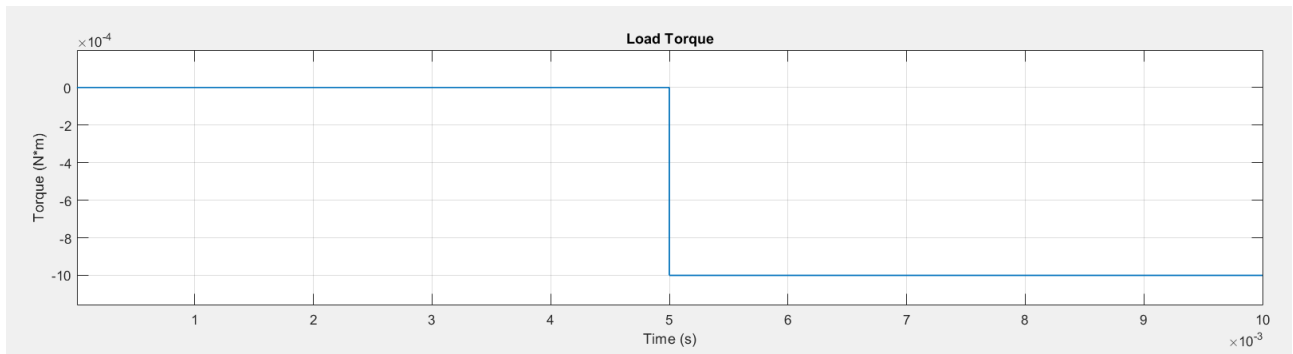


Рис. 5 – График крутящего момента нагрузки

По итогам проделанной работы была разработана частично упрощенная модель двигателя постоянного тока с постоянными магнитами в программном пакете MATLAB Simulink и убедились в том, что полученная математическая модель совпадает с параметрами реального объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Документация MATLAB (Permanent Magnet DC Motor) URL: <https://www.mathworks.com/help/simscape/ug/permanent-magnet-dc-motor.html> (дата обращения 20.03.2023).

2. Юревич Е. И. Основы робототехники, 4 изд. – БХВ-Петербург, 2018.
3. Блум Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. – БХВ-Петербург, 2015.
4. Корендясев А. И. Теоретические основы робототехники. – 2006.

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ПЯТИЗВЕННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Станкевич В.Е.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
г. Старый Оскол, Россия, st_vladislav2000@mail.ru*

***Аннотация.** В данной статье рассмотрено решение обратной задачи кинематики с использованием метода Денавита-Хартенберга. По полученной, при решении ПЗК кинематической схемы, составлены уравнения в явном виде для обобщенных координат робота. Таким образом, построена кинематическая модель робота для дальнейшего исследования системы.*

Ключевые слова: обратная задача кинематики; пятизвенный робот-манипулятор; метод Денавита-Хартенберга.

SOLVING THE INVERSE KINEMATICS PROBLEM FOR A FIVE-LINK ROBOTIC ARM

Stankevich V.E.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This article considers the solution of the inverse kinematics problem using the Denavit-Hartenberg method. According to the kinematic scheme obtained when solving the MPC, equations are drawn up explicitly for the generalized coordinates of the robot. Thus, a kinematic model of the robot was built for further investigation of the system.*

Keywords: the inverse problem of kinematics; five-link manipulating robot; Denavit–Hartenberg parameter.

В данной статье рассматривается самодельный робот-манипулятор, состоящий из пяти звеньев. Разработка систем управления для многозвеного робота-манипулятора является одним из важных аспектов в теории автоматического управления [1]. 3D-модель манипулятора представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – 3D-модель пятизвенного робота-манипулятора

Для решения задач по управлению манипулятором используют математическое описание:

1. Кинематика, отображающая кинематическую структуру робота.
2. Динамика, описывающая динамическую структуру робота.
3. Электромеханика, которая дает представление о связях электрической и механической частях робота.

Описание геометрии робота осуществляется с помощью кинематической схемы, которая отражает взаимное расположение сочленений звеньев. В данной схеме выделяются два основных типа сочленений - поступательное и вращательное. При использовании поступательного сочленения, относительное положение звеньев описывается угловой переменной, а при использовании вращательного - линейным смещением. Данные переменные называются обобщенными координатами.

Для описания кинематики робота решают две задачи - прямую задачу кинематики (ПЗК) и обратную задачу кинематики (ОЗК). ПЗК заключается в вычислении координат рабочего инструмента относительно нулевой системы координат при заданных наборах обобщенных координат. ОЗК, в свою очередь, заключается в определении набора обобщенных координат при заданных координатах и пространственной ориентации рабочего инструмента.

В данной статье рассмотрено решение обратной задачи кинематики для получения набора обобщенных координат, при заданных линейных и угловых координатах рабочего органа. На этапе решения прямой задачи кинематики для данного робота была построена кинематическая модель с использованием метода Денавита-Хартенберга. Также была построена кинематическая схема робота, состоящая из пяти вращательных звеньев и рабочего органа. (см. рисунок 2).

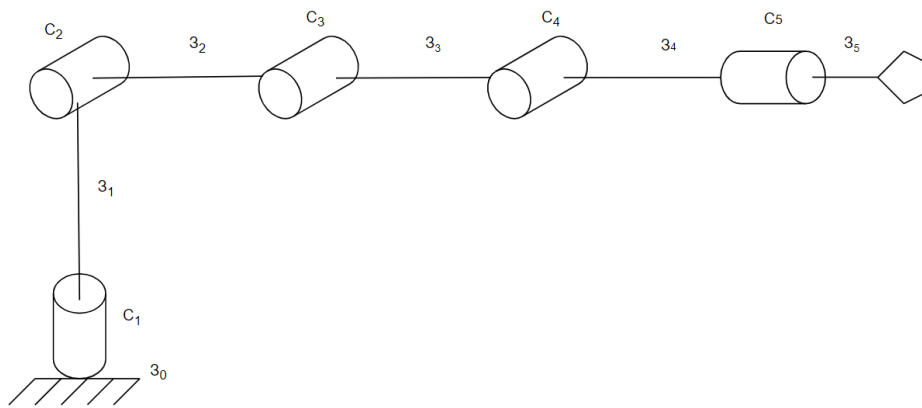


Рис. 2 – Кинематическая схема пятизвенного робота-манипулятора

При решении ПЗК построены системы координат, представленные на рисунке 3.

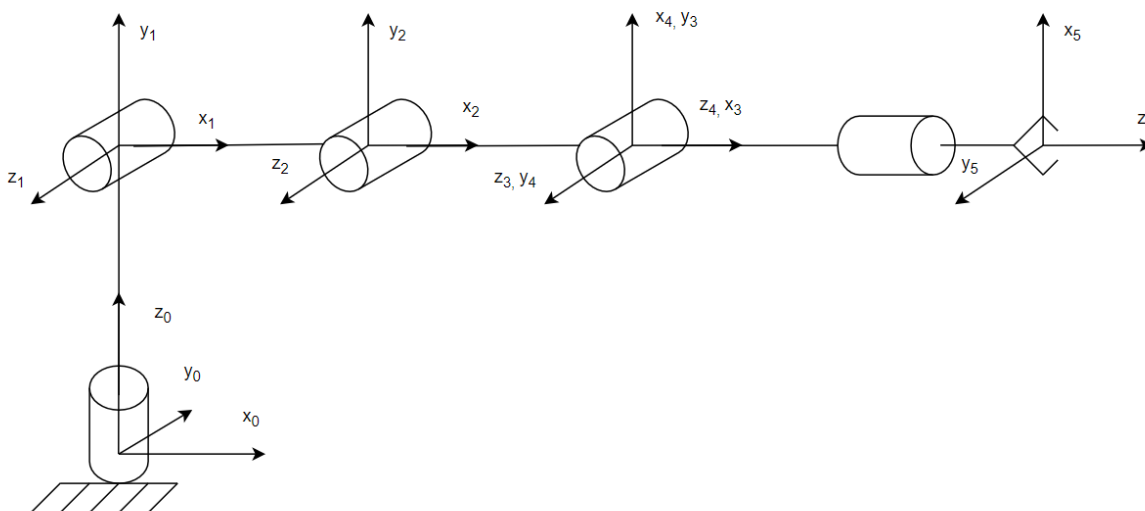


Рис. 3 – Выбор системы координат манипулятора

Воспользовавшись суммой векторов (1), выразили координаты точки $O_4(2)$.

$$p_5^0 = p_4^0 + d_5 R_5^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$p_4^0 = p_5^0 - d_5 R_5^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Далее решена задача ОЗК по положению, т.е. найдены тригонометрические соотношения между угловыми обобщенными координатами, исходя из координат вектора p_4^0 .

Определили первую обобщенную координату с помощью выражения (3).

$$\theta_1 = \text{atan2}(y_4^0, x_4^0) \quad (3)$$

Построили кинематическую схему в ненулевой конфигурации, представленную на рисунке 4.

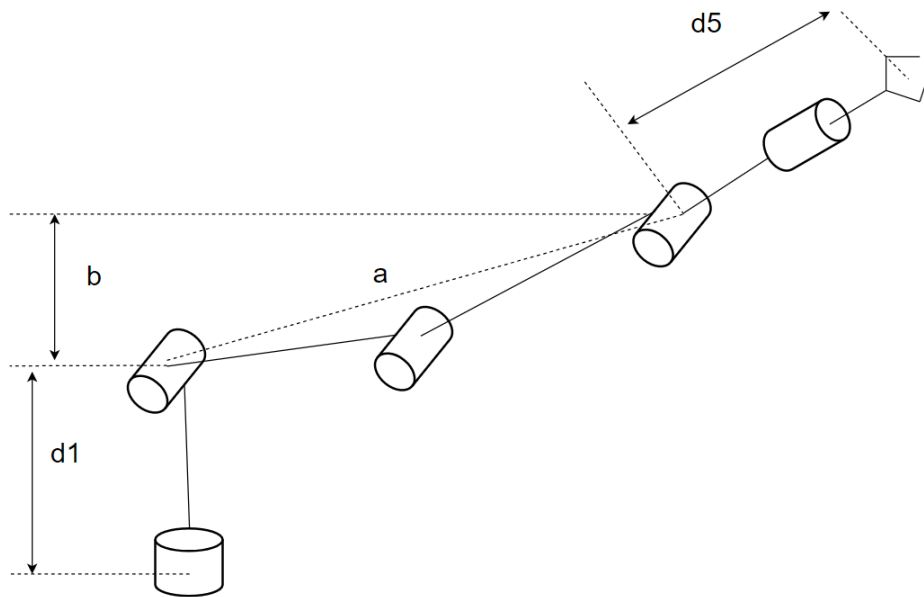


Рис. 4 – Кинематическая схема в ненулевой конфигурации

Далее получили отрезки a , b , c , необходимые для удобства расчета (4-6).

$$a = \sqrt{(x_4^1)^2 + (y_4^1)^2 + (z_4^1)^2} \quad (4)$$

$$b = z_4^0 - d_1 \quad (5)$$

$$c = \sqrt{(x_4^0)^2 + (y_4^0)^2} \quad (6)$$

Далее используя теорему Пифагора и теорему косинусов, получили следующее выражение (7), откуда выразили $\sin\theta_3$ (8).

$$b^2 + c^2 = a_2^2 + a_3^2 + 2a_2a_3\cos\theta_3 \quad (7)$$

$$\sin\theta_3 = \pm\sqrt{1 - \cos^2\theta_3} \quad (8)$$

В результате вычислили обобщенную координату θ_3 (9).

$$\theta_3 = \text{atan2}(\pm\sqrt{1 - \cos^2\theta_3}, \cos\theta_3) \quad (9)$$

Выразили обобщенную координату θ_2 через углы α и β (12). α и β нашли по формулам (10-11)

$$\theta_2 = \alpha - \beta \quad (10)$$

$$\tan\alpha = \frac{b}{c} \quad (11)$$

$$\tan\beta = \frac{a_3\sin\theta_3}{a_2 + d_4\cos\theta_3} \quad (12)$$

В результате получили выражение обобщенной координаты θ_2 (13).

$$\theta_2 = \text{atan2}(b, c) - \text{atan2}(a_3\sin\theta_3, a_2 + d_4\cos\theta_3) \quad (13)$$

Далее решена ОЗК по ориентации. Известно, что комбинация последовательных вращений вокруг текущих осей определяется путем перемножения с правой стороны, т.е. матрицу R_5^0 можно выразить как:

$$R_5^0 = R_3^0 R_5^3 \quad (14)$$

$$R_5^3 = (R_3^0)^T R_5^0 \quad (15)$$

$$R_5^3 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Таким образом, оставшиеся обобщенные координаты рассчитаны таким образом:

$$\theta_4 = \text{atan2}(\pm r_{23}, \pm r_{13}) \quad (17)$$

$$\theta_5 = \text{atan2}(\pm r_{32}, \pm r_{31}) \quad (18)$$

В результате работы была решена обратная задача кинематики для пятизвенного робота-манипулятора для дальнейшего исследования данной роботизированной системы. Были вычислены обобщенные координаты по координатам рабочего инструмента и проведены сравнения с реальным объектом, что помогло сделать вывод о том, что задача верно решена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов О. И., Громов В. С., Пыркин А. А. Методы управления робототехническими приложениями //Учеб. пособ., СПб.: Университет ИТМО. – 2016.

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ПЯТИЗВЕННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Станкевич В.Е.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
г. Старый Оскол, Россия, st_vladislav2000@mail.ru*

***Аннотация.** В данной статье рассмотрено решение прямой задачи кинематики с использованием метода Денавита-Хартенберга. Построена кинематическая схема робота, состоящая из пяти звеньев и рабочего органа. Получена матрица однородного преобразования, связывающая координаты рабочего органа и так же сравнены результаты расчетов с измеренными координатами рабочего органа.*

Ключевые слова: прямая задача кинематики; пятизвенный робот-манипулятор; метод Денавита-Хартенберга.

SOLVING A DIRECT KINEMATICS PROBLEM FOR A FIVE-LINK ROBOT MANIPULATOR

Stankevich V.E.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This article considers the solution of a direct kinematics problem using the Denavit-Hartenberg method. The kinematic scheme of the robot, consisting of five links and a working organ, is constructed. The calculation results are also compared with the measured coordinates of the working body.*

Keywords: direct forward kinematics; five-link manipulating robot; Denavit–Hartenberg parameter.

Одна из важных отраслей теории автоматического управления это разработка систем управления многозвенными роботами-манипуляторами [1]. В данной статье будет рассмотрен самодельный робот-манипулятор, состоящий из пяти звеньев. 3D-модель робота представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – 3D-модель пятизвенного робота-манипулятора

Для решения задач по управлению манипулятором, как правило, используют следующее математическое описание[1]:

1. Кинематика, отображающая кинематическую структуру робота;
2. Динамика, описывающая динамическую структуру робота;
3. Электромеханика, которая дает представление о связях электрической и механической частях робота;

Для описания геометрии робота используют кинематическую схему, которая отражает взаимное расположение звеньев, соединенных между собой сочленениями. Можно выделить два базовых вида сочленения – поступательное и вращательное. При использовании первого относительное положение смежных звеньев описывается угловой переменной, при использовании второго типа описывается линейным смещением. Эти переменные называются обобщенными координатами.

Для описания кинематики робота решают две задачи – прямую задачу кинематики (ПЗК) и обратную задачу кинематики (ОЗК). Прямая задача заключается в расчете координат рабочего инструмента относительно нулевой системы координат, при заданных наборах обобщенных координат. Обратная задача заключается в расчете набора обобщенных координат при заданных координатах и пространственной ориентации рабочего инструмента.

В данной статье рассмотрено решение прямой задачи кинематики для получения набора линейных и угловых координат пятизвенного манипулятора. Кинематическая модель составлена с помощью метода Денавита-Хартенберга [1]. Для решения ПЗК также составлена кинематическая схема робота (см. рисунок 2).

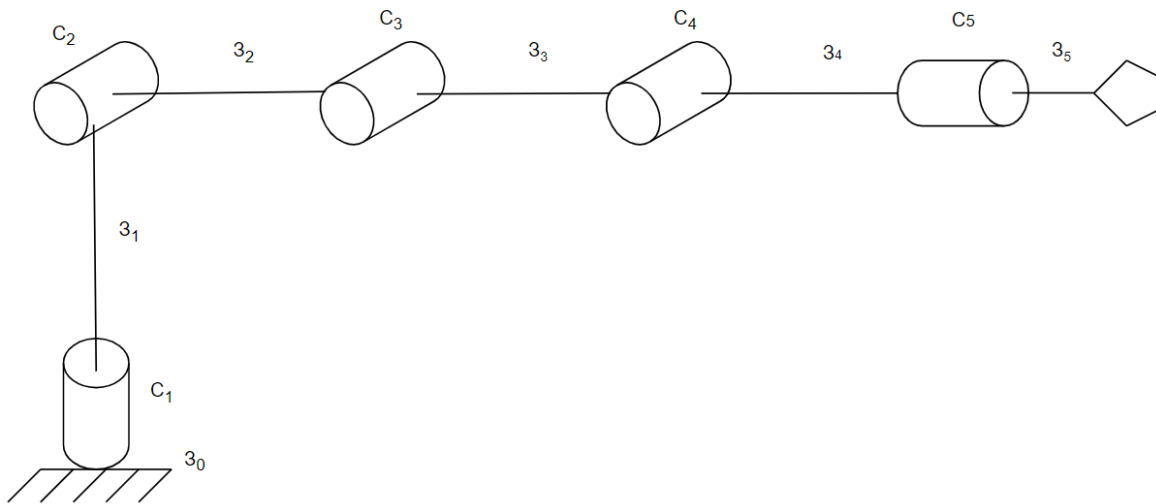


Рис. 2 – Кинематическая схема пятизвенного робота-манипулятора

Далее присвоено i систем координат. Для этого привязаны i -ые системы координат к i -ым звеньям.

Выбрана ось z_i таким образом, чтобы она совпадала с осью вращения или поступательного движения последующего сочленения $i + 1$ в зависимости от его типа. Это означает, что относительное расположение смежных звеньев (систем координат) будет определяться именно переменной вокруг (или вдоль) этой оси. Кинематическая схема рассматриваемого манипулятора состоит из пяти вращательных сочленений.

Выбрана ось x_i так, чтобы выполнялись два условия: ось x_i перпендикулярна оси z_{i-1} , ось x_i пересекает ось z_{i-1}

Выбрана ось y_i так, чтобы система координат, заданная единичными векторами $\vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i$ была правой.

Заключительным шагом, выбрана система координат n , связанная с рабочим инструментом. Для большинства современных роботов (в том числе для рассматриваемого пятизвенного манипулятора) последнее сочленение является вращательным, ввиду чего оси z_{n-1} и z_n совпадают. В этом случае искомая система получилась путем смещения предшествующей системы координат на фиксированное значение d_n вдоль оси z_{n-1} и последующего поворота на переменный угол θ_n вокруг z_{n-1} или наоборот. [1]. Полученные системы координат представлены на рисунке 3.

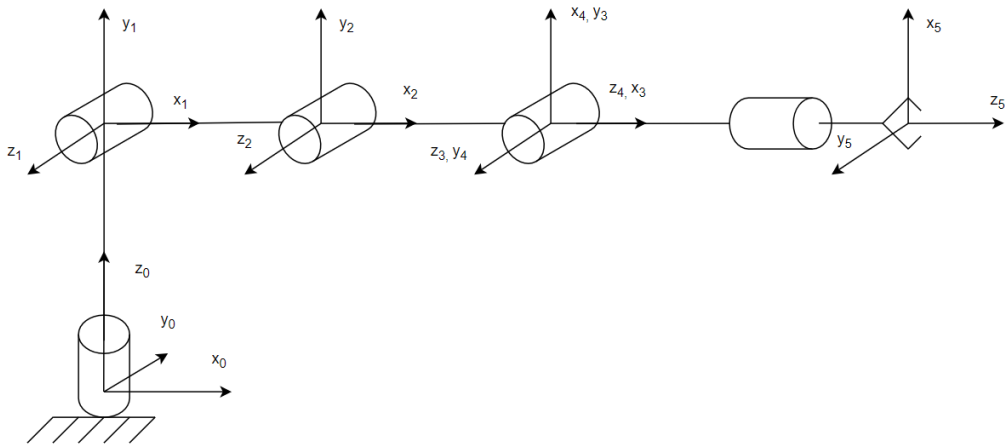


Рис. 3 – Выбор системы координат манипулятора

Рассчитано четыре параметра Денавита-Хартенберга для каждого звена. Полученные параметры представлены в таблице 1.

a_i — расстояние вдоль оси x_i от Z_{i-1} до Z_i ;

α_i — угол вокруг оси x_i от Z_{i-1} до Z_i ;

d_i — расстояние вдоль оси Z_{i-1} от x_{i-1} до x_i ;

θ_i — угол вокруг оси Z_{i-1} от x_{i-1} до x_i .

Таблица 1 – Параметры Денавита-Хартенберга для пятизвенного манипулятора

Звено i	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	$\frac{\pi}{2}$	d_1	θ_1
2	a_2	0	0	θ_2
3	a_3	0	0	θ_3
4	0	$\frac{\pi}{2}$	0	$\theta_4 + \frac{\pi}{2}$
5	0	0	d_5	θ_5

По полученным параметрам для каждого звена робота построена матрица однородного преобразования от основания к рабочему инструменту.

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} R_{z,\theta_i} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I & p_{d_i} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I & p_{a_i} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_{x,\alpha_i} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i}c_{\alpha_i} & s_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i}c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Подставив все параметры, получили і матриц однородного преобразования (1).

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & a_2 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & a_2 \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & a_3 \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & a_3 \sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4 + \frac{\pi}{2}) & 0 & \sin(\theta_4 + \frac{\pi}{2}) & 0 \\ \sin(\theta_4 + \frac{\pi}{2}) & 0 & -\cos(\theta_4 + \frac{\pi}{2}) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_5) & -\sin(\theta_5) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_5) & \cos(\theta_5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Итоговая матрица, связывающая все полученные системы координат, получена путем перемножения всех матриц от основания к рабочему органу (2-6).

$$T_n^0(q) = T_1^0(q)T_2^1(q)T_3^2(q)T_4^3(q)T_5^4(q) = \begin{bmatrix} R_n^0(q) & p_n^0(q) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Из итоговой матрицы получили вектор координат рабочего инструмента (8)

$$p_n^0(q) = \begin{bmatrix} x_n^0(q) \\ y_n^0(q) \\ z_n^0(q) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot a_2 + \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \cdot d_5 + \cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot a_3) \\ \sin(\theta_1) \cdot (\cos(\theta_2) \cdot a_2 + \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \cdot d_5 + \cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot a_3) \\ \sin(\theta_2) \cdot a_2 + \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \cdot d_5 + \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot a_3 + d_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Измерили параметры на реальном объекте: $a_2 = 0.21$ м, $a_3 = 0.12$ м, $d_1 = 0.14$ м, $d_5 = 0.18$ м. Установили манипулятор в нулевую конфигурацию и сравнили вычисленные значения (9) с помощью матрицы (7) и измеренные данные.

$$T_n^0(q) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0.51 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0.14 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Таблица 2 – Измеренные и вычисленные координаты рабочего инструмента

Координаты	Вычисленные, м	Измеренные, м
x	0.51	0.51
y	0	0
z	0.14	0.14

В результате работы была решена прямая задача кинематики для пятизвенного роботоманипулятора для дальнейшего исследования данной роботизированной системы. Были вычислены координаты рабочего инструмента и проведены сравнения с реальным объектом, что помогло сделать вывод о том, что задача верно решена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов О. И., Громов В. С., Пыркин А. А. Методы управления робототехническими приложениями //Учеб. пособ., СПб.: Университет ИТМО. – 2016.

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПО СНАБЖЕНИЮ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБЪЕКТА

Тетеревлева Е.В.¹, Моторина Н.П.², Севостьянова О.П.¹, Отев К.С.¹

¹ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Россия, г. Ухта

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

e-mail: eteterevleva@ugtu.net

***Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы математического моделирования и построение задачи линейного программирования процессов снабжения нефтедобывающего предприятия. Сформулирована имитационная модель поставок на нефтедобывающее предприятие запасных частей, оборудования и материалов в зависимости от потребностей и рисков.*

Ключевые слова: имитационная модель; электроснабжение объекта; логистика снабжения; надежность производства; производственные риски.

DEVELOPMENT OF A DYNAMIC LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR SUPPLYING AN OIL PRODUCTION FACILITY

Teterevleva E.V.¹, Motorina N.P.², Sevostyanova O.P.¹, Otev K.S.¹

¹Ukhta State Technical University, Russia, Ukhta

²Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The paper examines the issues of mathematical modeling and the construction of a linear programming problem for supply processes for an oil producing enterprise. A simulation model for the supply of spare parts, equipment and materials to an oil production enterprise was formulated and tested, depending on needs and risks.*

Keywords: simulation model; power supply of the facility; supply logistics; production reliability; production risks.

Проблемы бесперебойного снабжения потребителей электрической энергии на удаленных объектах на сегодняшний день являются актуальными. Возейское

нефтегазоконденсатное месторождение находится в труднодоступном районе Республики Коми. Снабжение месторождения и перевозка персонала осуществляется преимущественно воздушным транспортом, что затрудняет своевременное решение проблем при непредвиденном ремонте электроустановок в процессе добычи нефти на месторождении, тем самым увеличивая себестоимость и финансовые потери предприятия. Кроме того, следует учесть такие факторы, как сезонный характер доступа к месторождению, непроходимость дорог в осенний и ранний весенний период времени сложности с навигацией, опасность и габариты грузов и т.д.[1].

Проанализируем систему электроснабжения исследуемого объекта, чтобы с акцентировать внимание на разработке динамической модели снабжения месторождения. Главным крупными электропотребителями на отдаленном месторождении является дожимная насосная станция, погружные нефтяные насосы центробежного типа, ДНС и УПС, относящиеся к первой или второй категории электроснабжения. Установка подготовки нефти в целом потребляет более 189 кВт и установка очистки жидкости – более 200 кВт.

На производственном объекте имеется следующее электрическое оборудование, требующее своевременное обслуживание и замену: выключатель вакуумный ВВТП-10-20/1000 УЗ привод пружинный, отделитель ОД-110Б/630У1 привод ПРО-1У1, разъединитель РНДЗ-2-110/630У1 привод ПРН-110У1, трансформатор тока ТПОЛ-10У3- 0,5/10Р, короткозамкатель КЗ-110Б-У1 привод ПРК-1У1, заземлитель нейтрали ЗОН-110М-1У1 привод ПРН-11У1, трансформаторы тока ТФНД-110-400/5-0,5/Р/Р, трансформатор напряжения НТМИ-10-66У3. Количество трансформаторов типа ТМ на нефтедобывающем объекте составляет 12 штук при общей электрической нагрузке по всем нефтяным кустам, равной 1566,34 кВт.

Себестоимость логистики запасных частей для электроустановок и добывающего оборудования состоит из большого числа позиций по различным транспортным операциям, так как складирование, погрузочные работы, непосредственная доставка до места назначения, дальнейшие эксплуатационные работы, на которые влияют производственные риски (брак, задержка в пути и т.д.) и такие внешние риски, как инфляция, партнёрские отношения с поставщиками, санкции и многие другие. На сегодняшний день, в связи с введением санкций осложняются поставки микропроцессорной техники и деталей для электротехнического оборудования и автоматических систем управления, что подрывает параметры надежности электроснабжения. Всё вышеперечисленное оказывает влияние на повышение затрат при ремонте энергетических активов компании на конкретном объекте.

В качестве решения проблемы предлагается составить ориентированную модель затрат на снабжение материалами, оборудованием и запасными частями ремонтных работ на

электроустановках добывающих скважин, подразумевающую следующие факторы: i -номер пункта назначения, j -вид груза, l – номер участка погрузочно-разгрузочных работ, k – номер производителя, t -условный промежуток времени, Δt - размер временного лага, P_{ijt} – тариф транспортировки, Ph_{ljt} – тариф содержания груза, $Pprijt$ -тариф приема материалов, $Potijt$ – тариф отправки, Ph_{jt} -тариф на излишки, $Papit$ -пропускная способность, $Paphlt$ – показатель объемных характеристик. Таким образом, получаем следующую математическую функцию [4]:

$$F = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (X_{ijt}(P_{ijt} + Pot_{ijt}) + Y_{ijt} + Ppr_{ijt}) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (Ph_{ljt} \cdot Z_{ljt}) + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Ph_{jt}^* Z_{jt}^{**} \rightarrow \min . (1)$$

Производственно-экономическая интерпретация данной функции предполагает минимизацию общих издержек на транспортировку грузов до Возейского месторождения. Каждый процесс в данном случае ограничивается определенными сроками его исполнения, количеством транспортных средств, масштабами имеющихся складов, что определяет в итоге общий критический путь, на основании которого вычисляются ранние сроки реализации работ с целью сократить влияние внутренних и внешних рисков, которые приводят к повышению стоимости обслуживания активов [1].

Для дальнейшего более точного прогноза снабжения незапланированных ремонтных работ энергетических активов используется метод стохастического программирования, который позволяет максимально устранить неопределенность при формировании логистической системы. Оптимальное решение и адаптивная модель подбираются таким образом, чтобы учесть возможные потери материалов, брак, порчу, форс-мажорные обстоятельства в пути, какие-либо задержки в процессе перевозки. Для этого в процессе исследования была собрана подробная информация (первичные данные) по Возейскому месторождению: количество действующих скважин, объем добычи нефти, полный перечень обслуживающего дополнительного оборудования для поддержания непрерывности производства НГДУ.

Имитационная модель должна коррелироваться с оценкой потенциальных рисков предприятия. Сначала формируется список и количественный анализ рисков, далее необходимо установить уровень принятия данных рисков, и в конечном итоге разработать политику по управлению рисками и непредвиденными обстоятельствами [2].

Выражение, описывающее влияние рисков на затраты снабжения ремонта скважин месторождения можно представить следующим образом:

$$\mu_i = \frac{Q_i}{M_0(P) - M_i(P)} \quad (2)$$

Подразумевается, что Q_i – расходы по случившимся форс-мажорным обстоятельствам, $M_o(P)$ – среднее значение случайной величины (финансовых потерь до принятых мер), $M_i(P)$ – среднее значение случайной величины (финансовых потерь после принятых мер) [2].

Правильная оценка рисков, приближенная к реальности, в дальнейшем дает возможность составить имитационную модель снабжения месторождения установления альтернативных путей доставки с учетом модификации внешних и внутренних факторов предприятия и общей логистической цепочки. При этом каждое решение формируется в конкретный временной лаг на основании текущего положения каждого фактора и потенциальной оценки последствий изменений этого фактора. То есть количество требуемых материалов на каждом участке доставки определяется в зависимости от уровня тех или иных рисков, характерных каждому соответствующему участку. В таком случае динамическая модель будет иметь вид, где $Hsrp$ – предполагаемые издержки на ликвидацию задержек груза:

$$Mat(Hsrp) = \min_{ii \in U(i)_t} [d(t, U_i) + \sum_{j \in \Theta(t+1)} p_{ij}(t) Mat(Hsrp_{t+1})]. \quad (3)$$

Точность прогноза будет зависеть от общих тарифов в определённый момент времени и результатов задачи линейного программирования по установлению объема грузовых потоков. Интервал прогноза с учетом особенностей Возейского месторождения должен составлять в среднем квартал, в течении которого могут произойти идентичные этому периоду изменения в транспортировке. Выбранные функции для составления максимально верной модели могут быть реализованы с помощью инструментов динамического программирования, сводящего решение к минимизации издержек снабжения ремонтных работ на месторождении [3].

В целом, при управлении закупками и поставками ресурсов создаются комбинации маршрутов и оптимальных объем грузов, которые могут быть обработаны на пунктах перевалки, далее при помощи разработанной адаптивной модели рассчитываются критические случаи или риски согласно рисунку 1[4].

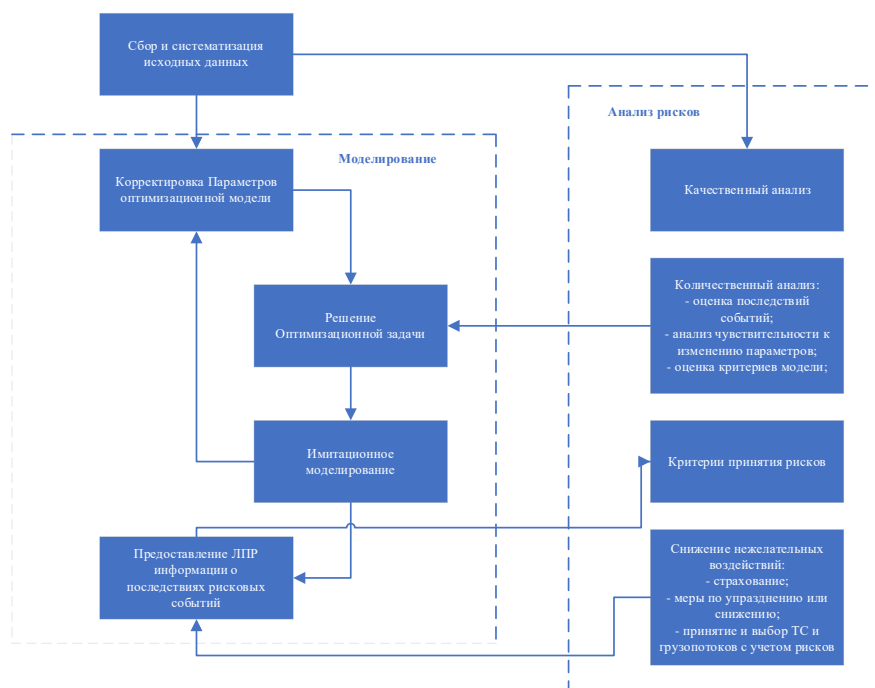


Рис. 1 – Методология анализа рисков и моделирования логистического процесса снабжения НГДУ

В результате исследования была разработана динамическая модель линейного программирования по снабжению нефтедобывающего объекта, в основе которой лежит функция стремления к минимизации издержек по доставке материалов и запасных частей. Для планирования путей доставки грузов применяется имитационный алгоритм расчета критического пути с учетом потенциальных рисков, возникающих под воздействием внутренних и внешних факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылова, О.В. Задача выбора вариантов схем доставки грузов в стохастической постановке / Крылова О.В. // Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность: тезисы докладов пятой международной молодежно-практической конференции. – М.: Газпром ВНИИГАЗ. - 2023.- С.167.
2. Никифоров, В.С. Мультимодальная перевозка и транспортная логистика: Учебное пособие. - Новосибирск: НГАВТ, 2022. - 103с
3. Беленький, А.С. Применение моделей и методов теории расписаний в задачах оптимального планирования на грузовом транспорте: Обзор// Автоматика и телемеханика. - 2021. - №1. - С. 3-77.

4. Лукинский, В.С. Транспортная логистика: алгоритм многокритериального выбора маршрута перевозки // Вестник ИНЖЕКОНА. Вып. 4(5). - СПб.: СПбГИЭУ, - 2021. - С. 156 – 162.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ В БУНТЕ

Устимов В.Ю., Полещенко Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
po-dima@yandex.ru*

***Аннотация.** В статье рассмотрены наиболее популярные методы выделения границ объектов, которые основываются на математических операциях. Были рассмотрены их алгоритмы работы и протестированы на примерах изображений реальных пакетов. Данные методы показали свою работоспособность, однако алгоритм Санны показал большую эффективность выделив 100% видимых границ, а алгоритм Хафа не определил 20 % объектов.*

Ключевые слова: алгоритм Санны; алгоритм Hough Transform; край объекта на изображении; классификация объектов на изображении.

INVESTIGATION OF BOUNDARY SELECTION ALGORITHMS TO DETERMINE THE NUMBER OF OBJECTS IN A RIOT

Ustimov V.U., Poleshchenko D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article discusses the most popular methods of object boundary allocation, which are based on mathematical operations. Their algorithms of operation were reviewed and tested on examples of images of real packages. These methods have shown their efficiency, however, the Canny algorithm has shown great efficiency by highlighting 100% of the visible boundaries, and the Hough algorithm has not identified 20% of the objects.*

Keywords: Canny algorithm; Hough Transform algorithm; edge of the object in the image; classification of objects in the image.

На сегодняшний день задача подсчета количества объектов на фотографии является одной из самых популярных. Для решения поставленной задачи существует большое

количество способ подсчета, которые могут основываться на компьютерном зрении, на основных математических операциях и так далее. Самым популярным направлением является компьютерное зрение, но не для всех задач возможно его применить или оно может быть нецелесообразно к применению.

Для определения количества объектов в бутаре было принято решение использовать методы, основанные на нахождении примитивов на изображении. Современные библиотеки предлагают огромное количество способов нахождения примитивов, не требуя для этого глубоких знаний математического анализа, языков программирования и других специфических знаний. В данной работе было принято решения рассмотреть и протестировать два самых популярных алгоритма нахождения примитивов: алгоритм Canny и алгоритм Hough Transform [1].

Для начала необходимо разобраться, как обнаружить примитивы и объекты на изображении. Для этого используются границы. Граница – это кривая на изображении, вдоль которой происходит резкое изменение яркости, насыщенности или другие виды неоднородности.

Причины возникновения границ: изменение яркости освещения; изменение угла падения света; изменение цвета; изменение ориентации поверхности.

Можно сделать вывод, что границы показывают нам важные особенности изображения. Для этого применяется преобразование в набор кривых линий, которые используются в дальнейшем для анализа.

Одним из самых популярных методов анализа на сегодняшний день является метод детектирования границ Canny. Данный алгоритм является многоэтапным и необходимо разобраться в его последовательности и что происходит на каждом из этапов [2].

Этапы алгоритма:

- удаление шумов и лишних деталей на изображении;
- определение градиента интенсивности изображения;
- не максимальное подавление шумов;
- установить пороговое значение гистерезиса;
- определение края по гистерезису.

Рассмотрим каждый этап работы алгоритма немного подробнее. На первом этапе при удалении шумов используется фильтр Гаусса. В данном случае используется сетка размером 5x5. Данный фильтр работает на основе усредненного значения пикселей с его соседями. Пиксели, которые расположены ближе к целевому, оказывают большее влияние на среднее значение, чем пиксели, которые находятся далеко. На качество шумоподавления также влияет размер ядра фильтра, чем больше ядро, тем выше ошибка локализации края. Самым

оптимальным считается размер 5×5 , данный размер был получен опытным путем из большого количества опытов, но бывают случаи, в которых необходимо использовать ядро большего или меньшего размера. Таким образом, на изображении снижается уровень шумов и размываются лишние детали, которые не являются основными для нашей обработки.

Следующим этапом после шумоподавления является этап расчета градиента интенсивности изображения. Край изображения может находиться в различных направлениях, поэтому в алгоритме Canny используются 4 фильтра. Данные фильтры должны обнаружить края в горизонтальном, вертикальном и диагональных направлениях на размытом изображении.

После того, как мы убрали шумы и определились с направлением края, необходимо перейти к этапу не максимальному подавлению шума. Не максимальное подавление шума – это один из методов утончения края. Иными словами, это удаление пикселей, которые могут не составлять границу или выбиваться из общего движения. Чтобы определить к какому классу относится пиксель (подходящий или надо удалить) выполняются следующие действия:

- вычисляют силу края в текущем значении пикселя;
- вычисляют несколько значений силы пикселей в положительном направлении движения градиента;
- производят действия пункта 2, только для отрицательного направления движения градиента;
- производится сравнение и анализируют, если значение данного пикселя максимально в сравнении с остальными посчитанными, то он остается, в противном случае его удаляют.

По итогу всех этих расчетов получается бинарное изображение с тонкими границами.

Следующий этап определения края объекта на изображении — это задание двойного порога или порогового значения гистерезиса. Данный этап заключается в том, чтобы удалить пиксели, которые являются краевыми, но выбиваются из общего представления границы. Для этого нужно отфильтровать значения пикселей со слабым значением градиента, но сохранить пиксели, которые имеют высокое значение рассчитанного градиента. Для того, чтобы не удалить слишком много краевых пикселей, необходимо задать верхний и нижний порог значений. Выбирают эмпирическим путем $L1$ – верхний порог, $L2$ – нижний порог. Могут возникнуть следующие случаи:

- если $\Theta > L1$, то пиксель помечается как сильный краевой пиксель;
- если $L1 > \Theta > L2$, то пиксель помечается как слабый краевой пиксель;
- если $\Theta < L2$, то пиксель будет подавлен/удален.

Таким образом, мы отсекали еще группу пикселей, которые испортят границу объекта на изображении, а следовательно, повысят значение неточности определения.

Заключительным этапом становится построение граничного соединения по результатам гистерезиса, рассчитанного в предыдущем пункте. Соединение пикселей с помощью ребер, что дает нам готовый краевой рисунок.

Пример работы алгоритма Canny на наших изображениях представлен на рисунке 1.

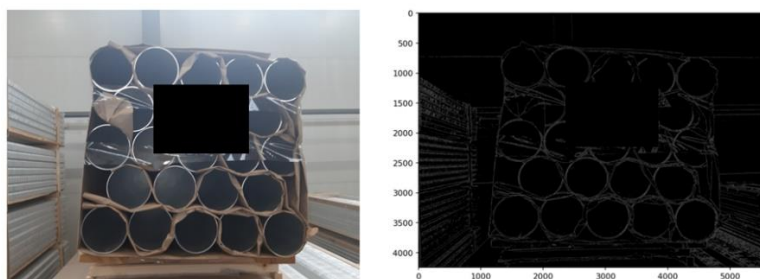


Рис. 1 – Пример работы алгоритма Canny

По обработанному изображению видно, что алгоритм Canny позволил выделить 100% видимых границ.

Преобразование Хафа – это один из популярных методов для поиска простых геометрических фигур на изображении, например круг, прямоугольник, линия и другие [3].

Данный алгоритм эффективно применять для объектов, которые пересекаются на изображении, или при изменяющихся условиях освещённости. Данный алгоритм способен находить простые геометрические фигуры даже в случае изображения, которое сильно зашумлено или смещено относительно плоскости.

Данный алгоритм применяется для поиска объектов одинаковой формы на изображении и работает на основании «голосования». Преобразование заключается в представлении искомого объекта в виде параметрического уравнения, где параметры – это фазовое пространство или пространство Хафа. Данный алгоритм применяется для двоичного изображения, которое может быть получено любым популярным способом, даже изображение после применения алгоритма Canny может применяться. Перебираются все точки на изображении и для каждой из них рассчитывается параметрическое уравнение со своими коэффициентами, которые сохраняются в пространство Хафа. После полного обхода выбирается максимальное значение, за которое «проголосовало» наибольшее количество пикселей. Таким образом, мы получаем уравнение для искомого объекта.

Теория Хафа заключается в том, что в двумерной плоскости, имеющей стандартные x и y , три точки принадлежат одной окружности только в том случае, если их пространственные поверхности пересекаются в одной точке.

Исходя из этого, если мы знаем количество точек на границе объекта и их количество достаточно, а также расположено так, что их точки находятся в одной плоскости, то мы сможем построить окружность.

В связи с этим возникает проблема, что у любой точки может быть своя окружность, а также эта точка будет входить в окружности большого числа соседних точек, количество таких окружностей зависит от выбранного радиуса. Поэтому, «наиболее вероятным» центром окружности считается точка максимального пересечения голосующих окружностей. В данном случае количество центров сокращается в десятки раз.

Таким образом, алгоритм поиска окружностей сводится к выведению окружностей в фазовом пространстве с заданным радиусом, с центрами во всех непустых точках. Дальнейший алгоритм заключается в поиске локального максимума пространства Хафа и для каждой такой точки строится своя окружность в двумерном пространстве. Выводы формул не представляются, так как для трёхмерного пространства имеют очень большие и громоздкие вычисления даже для одной окружности.

Пример работы алгоритма Хафа на наших изображениях представлен на рисунке 2.

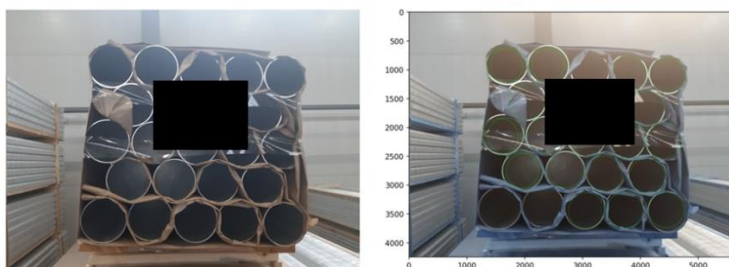


Рис. 2 – Пример работы алгоритма Хафа

По обработанному изображению видно, что алгоритм Хафа не выделил 4 из 21 объекта, что составляет порядка 20 % брака.

На основании изложенного материала и проведенного теста, можно сказать, что на таких простых геометрических фигурах, как окружность, прямоугольник, квадрат, треугольник высокую точность показывают алгоритмы нахождения примитивов. Следовательно, работу в данном направлении можно и нужно продолжить. Возможно применение нейронных сетей, или объединение нескольких алгоритмов для повышения эффективности работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Как работает компьютерное зрение. Изучаем основные алгоритмы, чтобы овладеть data science. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://haker.ru/2019/01/14/yandex-ds/#toc03.5> (дата обращения: 04.11.2023).
2. Детектор края Canny. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://alphapedia.ru/w/Canny_edge_detector (дата обращения: 10.11.2023 г.).
3. Глубокое погружение в обнаружение полос движения с помощью преобразования Хафа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://evogeeek.ru/articles/244852/> (дата обращения: 24.11.2023 г.).

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫМ КОНВЕЙЕРОМ

Цуканов А.В.

Оренбургский государственный университет, Россия, Оренбург, 03-06-2000@mail.ru

***Аннотация.** Приведены основные компоненты типовых автоматизированных систем управления ленточным конвейером. Описаны возможности применения искусственного интеллекта, значительно улучшающие производительность и контроль качества выпускаемой продукции.*

Ключевые слова: ленточный конвейер; автоматизация технологических процессов; искусственный интеллект.

AUTOMATED CONTROL SYSTEM BELT CONVEYOR

Tsukanov A.V.

Orenburg State University, Russia, Orenburg

***Abstract.** The main reasons for inaccuracies in the positioning of electric drives are described. The classification of positional systems is given. Drive systems are considered to ensure the highest accuracy.*

Keywords: conveyor belt; automation of technological processes; artificial intelligence.

Автоматизированные системы управления ленточными конвейерами играют ключевую роль в современной промышленности, обеспечивая эффективный транспорт и перемещение материалов в производственных и складских помещениях. Новейшие технологии и инновации в области автоматизации позволяют создавать более гибкие, надежные и умные системы управления, способные улучшить производственные процессы, повысить производительность и снизить затраты на обслуживание [1, 2].

В современных автоматизированных системах управления ленточными конвейерами широко используются разнообразные технологии, такие как датчики, программное обеспечение для управления и мониторинга, а также системы машинного обучения и искусственного интеллекта. Эти технологии позволяют оптимизировать процессы

перемещения грузов, улучшить точность и надежность работы системы, а также минимизировать риск возникновения аварийных ситуаций [3].

Одним из ключевых компонентов автоматизированных систем управления ленточными конвейерами являются элементы нижнего уровня автоматизации - датчики, которые используются для мониторинга различных параметров, таких как скорость ленты, температура и влажность окружающей среды, а также давление и уровень грузов. Эти данные передаются в центральную систему управления, где происходит анализ и принятие решений о дальнейшем управлении конвейером (средний уровень).

Современные автоматизированные системы управления ленточными конвейерами также оснащены ПО (верхний уровень), которое обеспечивает мониторинг работы оборудования, оптимизацию производственных процессов, планирование и управление производственными задачами. Это позволяет персоналу эффективно управлять производственными процессами и оперативно реагировать на изменения в окружающей среде или производственных условиях [4].

Если не так давно главные преимущества автоматизированных систем управления большинства оборудованием были:

- повышение производительности за счет ускорения и оптимизации производственных процессов;
- сокращение операционных расходов за счет минимизации ручного труда и снижения затрат на обслуживание оборудования;
- увеличение точности и надежности управления конвейером;
- сокращение вероятности человеческих ошибок и аварийных ситуаций;
- увеличение гибкости производства и возможность быстрой перенастройки системы под новые задачи и требования производства [5, 6].

То теперь на высокотехнологичных предприятиях внедряют системы машинного обучения и искусственного интеллекта

Благодаря алгоритмам машинного обучения, системы могут адаптироваться к изменяющимся условиям работы, оптимизировать процессы и предсказывать возможные сбои или поломки оборудования [7].

Одним из основных направлений применения искусственного интеллекта для управления конвейерами является обнаружение дефектов и контроль качества продукции. С помощью методов машинного обучения и компьютерного зрения ИИ может автоматически сканировать и анализировать изделия на предмет отклонений от стандартов, обнаруживать дефекты, позволяя исключить брак и повысить качество выпускаемой продукции.

Кроме того, ИИ можно использовать для прогнозирования и планирования потребности в материалах и компонентах. Автоматический анализ данных о расходе и запасах позволяет определить оптимальное время и объем поставок, предотвращая ситуации с нехваткой материалов или их избытком.

Искусственный интеллект также может улучшить процесс решения проблем и ремонта. Системы ИИ могут применять алгоритмы и экспертные системы для идентификации и анализа проблем, предлагать решения и помогать техническому персоналу в выполнении ремонтных работ [8].

Более того, применение искусственного интеллекта позволяет сделать процесс управления конвейерной линией более эффективным и гибким. ИИ способен адаптироваться к меняющимся условиям производства, оптимизировать потоки материалов и процессы, учитывая различные ограничения и требования, а также предлагать оптимальные варианты решений.

В целом, автоматизированные системы управления ленточными конвейерами играют важную роль в оптимизации производственных процессов, повышении производительности и снижении затрат на обслуживание. Современные технологии и инновации позволяют создавать более гибкие, умные и надежные системы управления, способные эффективно работать в самых разнообразных условиях промышленных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная система контроля и управления ленточными конвейерами на угольных шахтах / А. И. Благодарный, О. З. Гусев, Е. П. Золотухин [и др.] // Горная промышленность. – 2008. – № 6(82). – С. 38-45. – EDN KVVYHNP. Лицин, К. В. Разработка автоматизированного электропривода резбонакатного станка / К. В. Лицин, А. В. Цуканов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2020. – № 9. – С. 74-79.
2. Либерман, Я. Л. Автоматическая система управления конвейерными приводами / Я. Л. Либерман, К. Ю. Летнев, Л. Н. Горбунова // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – № 2(142). – С. 3-9. – DOI 10.26730/1816-4528-2019-2-3-9. – EDN MNADVК.
3. Litsin, K. V. Automated Electric Drive for the Control System of a Two-Coordinate Welding Machine / K. V. Litsin, A. V. Tsukanov // Steel in Translation. – 2021. – Vol. 51. – No 5. – P. 314-319. – DOI 10.3103/S0967091221050089. – EDN PRMEET.
4. Цуканов, А. В. Разработка автоматизированного электропривода паллетайзера в условиях цементного производства / А. В. Цуканов, К. В. Лицин // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы восемнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый

Оскол, 17 декабря 2021 года. Том 1. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", 2021. – С. 510-513. – EDN MQLMXK.

5. Келесбек, А. Б. Автоматизированная система управления блоковым конвейером №1 Нурказганского подземного рудника / А. Б. Келесбек // *Мировая наука*. – 2020. – № 5(38). – С. 466-471. – EDN ZJGUYA.

6. Буй, Ч. К. Модернизация и оптимизация работы транспорта шахты Хонг Тхай Республики Вьетнам в условиях взрывной отбойки угля / Ч. К. Буй, С. С. Кубрин, Т. Т. Х. Буй // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2018. – № S10. – С. 3-12. – DOI 10.25018/0236-1493-2018-3-10-3-12. – EDN YSHLKU.

7. Мажит, А. К. О модернизации системы управления ленточными конвейерами №15 и №7 на Карагайлинской обогатительной фабрике / А. К. Мажит // ПЕРВЫЙ ШАГ в БОЛЬШУЮ НАУКУ : сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 05 ноября 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 34-39. – EDN GKTYUW.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680784 Российская Федерация. Программный модуль идентификации автозапчастей легкового автомобиля на базе искусственного интеллекта : № 2022668609 : заявл. 11.10.2022 : опубл. 07.11.2022 / Е. А. Скуратовский. – EDN DCJIDN.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Цуканов А.В.

Оренбургский государственный университет, Россия, Оренбург, 03-06-2000@mail.ru

Аннотация. *Описаны основные причины неточностей при позиционировании электроприводов. Приведена классификация позиционных систем. Рассмотрены системы приводов для обеспечения наивысшей точности.*

Ключевые слова: позиционные системы; автоматизация технологических процессов; электропривод.

APPLICATION OF POSITIONING SYSTEMS FOR PRECISION ELECTRIC DRIVES

Tsukanov A.V.

Orenburg State University, Russia, Orenburg

Abstract. *The main reasons for inaccuracies in the positioning of electric drives are described. The classification of positional systems is given. Drive systems are considered to ensure the highest accuracy.*

Keywords: positional systems; automation of technological processes; electric drive.

Качество перемещения объекта в позиционной системе можно оценить по точности повторяемости и позиционирования, а также по углу отклонения.

Одним из самых важных аспектов такой системы является вид привода. Кинематические ошибки позиционирования появляются из-за погрешностей шага ходового винта и оказывают непосредственное влияние на результаты измерения. Инерционная сила при разгоне, а также сила трения и технологические процессы могут привести к изменению механизма подачи, что вызовет смещение положения относительно позиции задания.

Умеренное ускорение в 2 м/с^2 приведет к отклонению значения перемещения на 5-10 мкм, которое не будет обнаружено системой вращения винт-привода. При увеличении ускорения отклонение также возрастет. Зависимо от типа установки, значение силы трения составляет 1-2% от нормальной составляющей силы для роликовых направляющих и 3-12% для направляющих скольжения [1, 2].

Таким образом, при значении нормальной составляющей силы величиной 500 Н, деформации механизма подачи от силы трения настолько малы, что их можно пренебречь. Точность регулирования переменной определяется возможным отклонением от заданного значения под воздействием возмущения.

Среднее значение координаты является заданным в открытой системе, возникающее вследствие появления возмущающей силы $F_{в.ср}$. Абсолютное значение точности представляет собой наибольшее отклонение ΔX_{\max} от среднего значения $X_{ср}$ [3].

Точность регулирования представлена на рисунке 1.

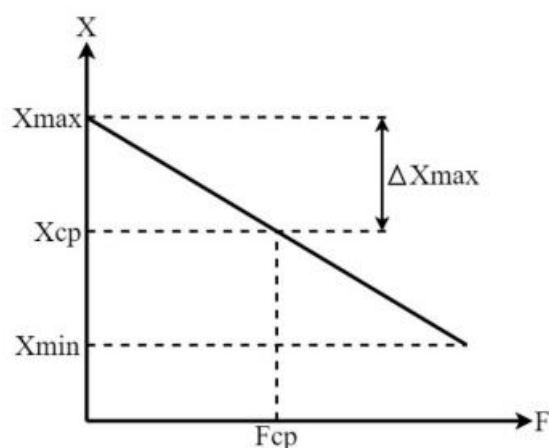


Рис. 1 – Точность регулирования

Точность поддержания скорости зависит от жесткости механических характеристик β : чем выше жесткость, тем выше точность системы. Обычно точность измеряется в относительных единицах, и оценка точности системы электропривода часто проводится на основе минимальной заданной величины скорости $\omega_{с}$.

Для достижения высокой точности регулирования положения необходимо использование замкнутого электропривода с обратной связью по положению. Такая система автоматически подает сигнал для торможения электропривода, чтобы достичь заданной точности останова. Обратная связь по положению используется для сравнения заданного положения привода с фактическим положением рабочего органа, а также для устранения расхождений [4].

Системные расхождения — это динамические характеристики системы, которые зависят от свойств системы, скорости и ускорения узлов станка. Эта величина расхождения может достигать нескольких импульсов. В электроприводах металлургических станков, включая станок накатки резьбы, широко применяются позиционные системы с модулями измерения и

управления положением. В современных системах управления приводами, таких как системы КЭП, режимы позиционирования реализуются с использованием интеллектуальных модулей расширения контроллеров [5].

При этом режимы позиционирования ограничивают выходной сигнал скорости и положения регулятора. Программная реализация этих регуляторов позволяет анализировать уровень сигналов задания, системные ошибки, пределы допустимых значений переменных, а также корректировать ограничения.

Был создан закон управления для системы позиционирования, который сбалансирован в плане тепловых потерь и производительности. В промышленных электроприводах ранее не применялось управление, направленное на минимизацию тепловых потерь.

Это было связано с тем, что сложная форма управляющего воздействия не могла быть воспроизведена при использовании аналоговых устройств, но с развитием цифровых устройств это стало возможным. Применение систем регулирования положения, оптимизирующих тепловые потери, позволит снизить энергопотребление, но потребует использования цифровых датчиков положения для реализации сложных законов управления.

Существующие алгоритмы оптимального управления разработаны в аналоговой форме, они не учитывают квантование по времени, экстраполяцию и особенности цифрового интегрирования. Пренебрежение этими факторами приведет к ошибкам формирования управляющего воздействия, что препятствует решению поставленной задачи [6, 7].

Для точного регулирования положения электропривода используют трехконтурные системы с подчиненным регулированием.

Данная система обладает высокой точностью в позиционировании. Для ее построения в структурной схеме неизменяемой части выделяют последовательность динамических звеньев, каждое из которых выдает соответствующую регулируемую координату, такую как ток, скорость, угол поворота или путь при использовании электропривода.

Затем осуществляется синтез контуров регулирования, начиная с контура тока - первой внутренней координаты. Этот синтез обычно выполняется с использованием регуляторов. Система контроля перемещения для каждого вида позиционирования определяется производительностью и точностью [8].

Методы измерения перемещения в измерительных системах для позиционных электроприводов с внешним контролем перемещения можно классифицировать следующим образом:

С датчиком положения:

- с одной командой;
- с несколькими командами.

С датчиком перемещения:

- дискретные;
- аналоговые [9].

Датчики положения используются для фиксирования перемещения подвижных элементов станка в определенных положениях, без контроля всех промежуточных значений. Эти датчики могут выдавать одну или несколько фиксированных команд. Информация от датчиков положения предоставляется в цифровой или аналоговой форме на всем пути перемещения.

Обычно датчики положения применяются в системах с ограниченным заданным положением подвижного элемента рабочей машины и редко меняющимся циклом перемещения. Датчики перемещения, в свою очередь, преимущественно используются в системах позиционирования, где требуется частое изменения величины и цикла перемещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постников, В. Г. Оптимизация позиционных электроприводов в автоматизированной системе на основе многоканального фаззи-контроллера / В. Г. Постников // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2007. – № 2. – С. 28-30. – EDN KNOXYZ.

2. Лицин, К. В. Разработка автоматизированного электропривода резьбонакатного станка / К. В. Лицин, А. В. Цуканов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2020. – № 9. – С. 74-79.

3. Тюрин, С. В. Разработка и исследование релейной системы управления электроприводом позиционных механизмов : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тюрин Сергей Васильевич. – Нижний Новгород, 2004. – 17 с. – EDN NICZQP.

4. Лицин, К.В., Цуканов А.В. Реконструкция многодвигательного электропривода тянуще-правильной машины // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 4. – С. 214-219.

5. Постников, В. Г. Оптимизация позиционных электроприводов автоматизированных систем на основе фаззи-контроллера : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Постников Виктор Геннадьевич. – Москва, 2007. – 20 с. – EDN NIYINT.

6. Litsin, K. V. Automated Electric Drive for the Control System of a Two-Coordinate Welding Machine / K. V. Litsin, A. V. Tsukanov // *Steel in Translation*. – 2021. – Vol. 51. – No 5. – P. 314-319. – DOI 10.3103/S0967091221050089. – EDN PRMEET.

7. Иванков, В. А. Системы контурно-позиционного управления редукторными электроприводами многоцелевых металлорежущих станков : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иванков Вадим Алексеевич. – Иваново, 2008. – 22 с. – EDN NKKWYZ.

8. Тюрин, С. В. Разработка и исследование релейной системы управления электроприводом позиционных механизмов : специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тюрин Сергей Васильевич. – Москва, 2004. – 162 с. – EDN NMYNBV.

9. Цуканов, А. В. Разработка автоматизированного электропривода паллетайзера в условиях цементного производства / А. В. Цуканов, К. В. Лицин // *Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы восемнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 17 декабря 2021 года. Том 1.* – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", 2021. – С. 510-513. – EDN MQLMXK.

**О ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
АКАДЕМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Цыганков Ю.А., Соловьев А.Ю., Сергейчик М.С., Жестовских А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
tsy-18@yandex.ru*

***Аннотация.** В данной статье рассматривается возможность разработки методики интеллектуального анализа данных и применения моделей машинного обучения для выявления скрытых зависимостей, однозначно характеризующих различные категории студентов с целью прогнозирования их академических показателей.*

Ключевые слова: машинное обучение; академическая успеваемость; образование.

**ON THE POSSIBILITY OF DEVELOPING A SYSTEM FOR PREDICTING STUDENTS
ACADEMIC PERFORMANCE USING MACHINE LEARNING METHODS**

Tsygankov Y.A., Solovlev A.Iu., Sergeychik M.S., Zhestovskikh A.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This article considers the possibility of developing data mining techniques and applying machine learning models to identify hidden dependencies that uniquely characterize different categories of students in order to predict their academic performance.*

Keywords: machine learning; academic progress; education.

Задача оценки и прогнозирования показателей эффективности труда персонала является актуальной для многих отраслей. С внедрением цифровых сервисов и накоплением большого количества данных для решения данной задачи все чаще стали применяться алгоритмы машинного обучения. Попытка решения подобной задачи для сферы образования представлена в данной статье. Ведь в ходе обучения студентов важно понимать результаты обучения не только по факту завершения академического периода, но и желательно иметь значение возможной оценки в течение семестра. При наличии подобного прогноза возможно

будет осуществлять индивидуальную работу со студентами для корректировки текущей ситуации.

При анализе литературы были найдены работы, решающие схожую задачу. Так, например, в [1-4] рассматривается разработка прогнозирующей модели показателей академической успеваемости студентов. Однако, это делается на основе данных активности в learning management systems (LMS), что не позволяет оценить в полной мере влияние прочих априорных социальных факторов на успеваемость студентов. В [5] рассматривается построение нейросетевой модели для прогнозирования желаемых показателей при учете социальных факторов. Но прогноз имеет вид деления на классы – студент будет отчислен / студент не будет отчислен, что не позволяет достаточно детально проанализировать успеваемость. В [6] рассматривается вопрос разработки качественной базы знаний, что было учтено при формировании датасета для представленного в статье исследования. В [7] и дальнейших работах выполняется наиболее близкая по цели к данной статье работа – проводится анализ данных, оценивается степень их влияния, осуществляется классификация по успеваемости, но при этом также оценивается меньший набор социальных факторов.

Для проведения экспериментов был рассмотрен датасет, содержащий информацию об абитуриентах и студентах нашего института. На этапе экспорта данные были обезличены, исключены признаки, однозначно идентифицирующие личность для предотвращения утечки персональных данных. Основные анализируемые параметры были представлены показателями, характеризующими сугубо академическую обстановку: курс, средний балл, наличие академической стипендии, количество академических задолженностей и прочее.

Но для расширения возможностей проводимого анализа были добавлены и иные показатели, которые характеризуют социальную картину студента: пол, возраст, количество детей в семье, предыдущее образовательное учреждение и прочее.

Исходный датасет содержал более 6000 записей с порядка 30 параметрами. Однако, проведенный на начальной стадии этап очистки данных, в ходе которых были удалены дубликаты, неполные записи и прочее, сократил датасет до 5744 строк и 20 параметров. Исходя из выполненной дисциплины были сформированы рекомендации по изменению политики ведения учета в базах института.

Следующим этапом стала предварительная предобработка датасета, для оценки статистических параметров, и подготовка данных к процедуре анализа. Для этого к некоторым показателям была применена процедура one-hot-encoding, нормализация и масштабирование значений. После этого была проведена предварительная оценка статистической делимости данных. Для этого была построена и визуализирована зависимость количества долгов от

среднего балла. Из распределения, показанного на рисунке 1, четко прослеживается разделение на 3 большие группы, что было учтено в дальнейшем при кластеризации.

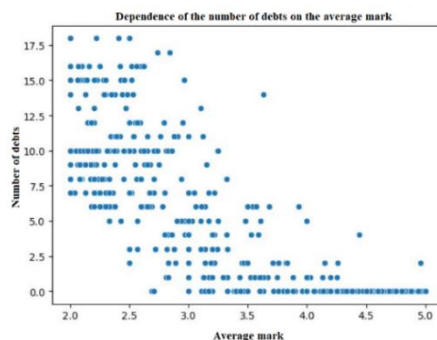


Рис. 1 – Зависимость количества долгов от среднего балла.

Затем был выполнен кластерный анализ при помощи метода k-means clustering [8-10]. Данный метод является одним из наиболее распространенных методов кластерного анализа, зарекомендовавшим себя в условиях многомерных наборов данных. При применении данного метода выполняется разбиение набора данных на определенное количество групп – кластеров. Алгоритм функционирует согласно (1):

$$Y = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} (x - \mu_i)^2 \quad (1)$$

где: k – число кластеров;

S_i – полученные кластеры;

μ_i – центры масс всех векторов x из кластера S_i .

В ходе анализа целевыми показателями являлись «средний балл» и «количество задолженностей». Эмпирически были выбраны 3 возможных кластера:

- «cluster 0» - отлично успевающие студенты;
- «cluster 1» - студенты среднего уровня академической успеваемости;
- «cluster 2» - студенты с низкой успеваемостью.

Результат кластеризации датасета по данным показателям представлен на рисунке 2.

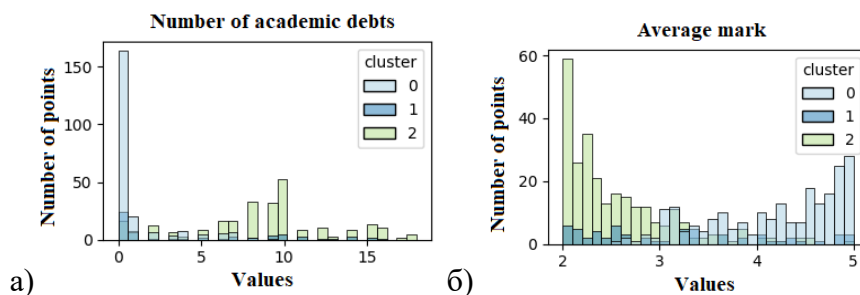


Рис. 2 – Результат анализа по показателю: а) «Число академических задолженностей»; б) «Средний академический балл».

Из представленных графиков видно, что полученный в результате экспорта и предобработки датасет принципиально возможно разделить на кластеры по интересующим значениям показателей академической успеваемости. Это говорит о том, что имеющиеся данные содержат те признаки, которые характеризуют общую успеваемость студентов. При этом исходный набор содержит как чисто академические признаки, так и характеристики, определяющие социальный статус студентов, что в определенной степени, несомненно, влияет как на мотивацию, так и на успеваемость студентов. На следующем этапе был выполнен анализ для более детального анализа полученных результатов кластерного анализа. На рисунке 3 представлены: распределение медианного значения балла по кластерам и распределение медианного количества задолженностей по кластерам.

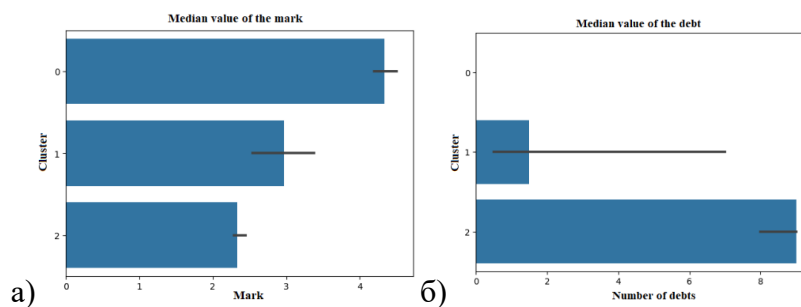


Рис. 3 – Распределение медианного значения: а) балла по кластерам; б) задолженностей по кластерам.

При этом были также проанализированы распределения численных значений по кластерам, получившиеся в результате анализа. Они представлены на рисунке 4. Представленные результаты и числовые значения таких величин, как медианное значение, минимальное/максимально значение кластера, квартильные группы, а также выборочные значения, являющиеся выбросами, наглядно подтверждают результаты кластерного анализа, представленного выше. При этом, стоит отметить, что категория «cluster 1», в который вошли

студенты со средним уровнем успеваемости, является наиболее представительным, при этом прочие кластеры не являются пустыми, значения на уровне логической объяснимости. Это свидетельствует о корректности процедуры кластерного анализа и сбалансированности сформированного набора данных, что также говорит в пользу правильно разработанного алгоритма экспорта данных.

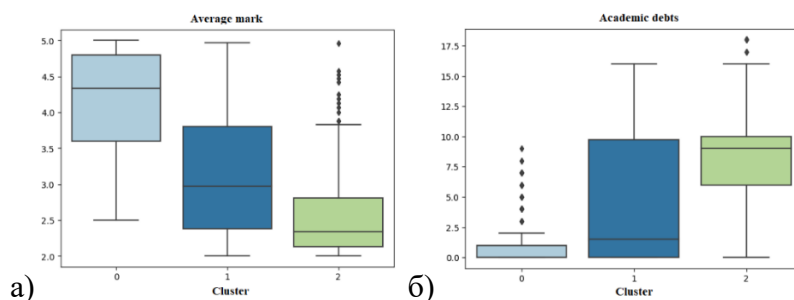


Рис. 4 – Распределение значений параметра: а) «Средний балл» по кластерам; б) «Академические задолженности» по кластерам.

По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод, что с помощью алгоритмов машинного обучения существует принципиальная возможность анализа и построения прогнозирующих моделей показателей академической успеваемости студентов на имеющемся наборе данных. Следовательно, можно сделать вывод, что дальнейшие предметные эксперименты по анализу имеющихся данных, выявлению взаимосвязей и определению функциональных зависимостей для построения прогнозирующей подсистемы могут быть реализованы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Elbadrawy A., Polyzou Ag., Ren Z., Sweeney M., Karypis G., Rangwala H. Predicting Student Performance Using Personalized Analytics // Computer. 2016; 49(4). P. 61-69.
2. C. Romero, S. Ventura, E. Garca. Data Mining in Course Management Systems: Moodle Case Study and Tutorial // Computers & Education, vol. 51, no. 1, 2008, P. 368–384.
3. A. Elbadrawy, R.S. Studham, G. Karypis. Collaborative Multiregression Models for Predicting Students' Performance in Course Activities // Proc. 5th Int'l Conf. Learning Analytics and Knowledge (LAK 15), 2015, P. 103–107.
4. S. Boyer, K. Veeramachaneni. Transfer Learning for Predictive Models in Massive Open Online Courses // Artificial Intelligence in Education. LNCS 9912, Springer, 2015, P. 54–63.

5. Русаков С.В., Русакова О.Л., Посохина К.А. Нейросетевая модель прогнозирования группы риска по успеваемости студентов первого курса // Современные информационные технологии и ИТ-образование. Том 14 (4). 2018. с. 815 – 822.
6. Трусов Р.Е., Горькавый М.А. Разработка прототипа базы знаний интеллектуальной системы оценки успеваемости обучающегося на основе объектно-ориентированного подхода // Объектные системы. 11. 2015. С. 50 -54.
7. Губин Е. И., Семенюта А.В. Предварительная обработка сырых данных о характеристиках студентов университета и разведочный анализ // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 22-26 марта 2021 г., г. Томск. — Томск: Изд-во ТПУ, 2021. С. 355-357.
8. MacQueen J.B. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations // Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Vol. 1. University of California Press. 1967. P. 281–297.
9. Steinhaus H. Sur la division des corps matériels en parties // Bull. Acad. Polon. Sci. 4 (12). 1957. P. 801–804.
10. MacKay D. Chapter 20. An Example Inference Task: Clustering // Information Theory, Inference and Learning Algorithms. Cambridge University Press. 2003. P. 284–292.

СЕКЦИЯ 1 «МЕТАЛЛУРГИЯ»	4
СОВРЕМЕННАЯ ГЕОГРАФИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ	4
<i>Болгова Т.С</i>	
АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ НЕПРЕРЫВНОГО СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОСЫ	9
<i>Бредихин Д.С., Кузнецов А.С., Соловьёв В.Н.</i>	
РАСЧЕТ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ ОКИСЛЕНИИ ГБЖ	15
<i>Гладкая Е.А., Тимофеева А.С., Кожухов А.А.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА НА ПЛОТНОСТЬ И ПОРИСТОСТЬ СЫРЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ	20
<i>Гладкая Е.А., Тимофеева А.С., Мамыкин С.М., Киселева Н.А.</i>	
РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО ШАРОБАЛЛОНА С ПОЛИМЕРНЫМ ЛЕЙНЕРОМ	25
<i>Ивановская О.В.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКУУМИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ЭКСТРУЗИОННЫХ БРИКЕТОВ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	39
<i>Карамин А.В., Скляр В.А., Черменев Е.А.</i>	
СОСТОЯНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ОСНОВНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	45
<i>Киселева Н.А.</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЧЁРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	51
<i>Кочергина И.Н., Кочергин Н.В.</i>	
ОЦЕНКА УВЕЛИЧЕНИЯ ОБРЕЗИ РАСКАТА ПРИ ПРОКАТКЕ СЛЯБОВ С ВЫСТУПОМ ТОРЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ВИДЕ СТУПЕНЬКИ	58
<i>Кун А.С., Белолитецкая Е.С., Соловьёв В.Н.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ	62
<i>Лазарева О.Р., Тимофеева А.С., Короткова Л.Н.</i>	
ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ	68
<i>Лукьянов И.Е., Сазонов А.В., Сурков В.П., Новоточинов А.П., Федина В.В.</i>	
ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ	73
<i>Поздняков Е.П., Степанкин И.Н.</i>	
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ДСП-150 НА ПРЕДПРИЯТИИ АО «ОЭМК ИМ. А.А.УГАРОВА»	80
<i>Реснянская А.С.</i>	
ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА С УЧЕТОМ БАЛЛАСТИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ГОРЕНИЯ ПРОДУКТАМИ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЭКОНОМИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ	85
<i>Сазонов А.В., Здарова Е.Р.</i>	
ОСОБЕННОСТИ БАЛЛАСТИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ГОРЕНИЯ ПРОДУКТАМИ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА	91
<i>Сазонов А.В., Кочергин Н.В.</i>	

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ ТВЕРДОГО ОКИСЛИТЕЛЯ НА ТЕХНИЧЕСКИЙ ГАЗООБРАЗНЫЙ КИСЛОРОД В ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАВКЕ СТАЛИ В ДСП - 14 <i>Сазонов А.В., Черменев Е.А., Короткова Л.Н.</i>	95
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ ПРОКАТКИ КРУПНОСОРТНОГО ПРОКАТА <i>Семенов З.В., Плохих Е.В.</i>	101
УТОЧНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ФОРМУЛ РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ НА ЛАБОРАТОРНОМ СТАНЕ <i>Скляр В.А., Ерофеев Д.С.</i>	104
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛЕЙ НА НАПРЯЖЕНИЕ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ <i>Скляр В.А., Рудаков М.Е., Сайдаминов Д.И.</i>	110
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА ВАЛКОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА <i>Скляр В.А., Цынкин К.Д.</i>	116
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК» <i>Черменев Е.А., Кожухов А.А., Скляр В.А., Карамин А.В.</i>	121
СЕКЦИЯ 2 «ГОРНОЕ ДЕЛО»	126
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ПРОИЗВЕДЕННОГО КОНЦЕНТРАТА В ЖИДКОЙ ФАЗЕ ПО ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК» <i>Тараненко М.Е., Игнатов А.А.</i>	126
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ГОРНОРУДНЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Тараненко М.Е., Попова М.А.</i>	143
МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА КОЛЕСНЫХ ПАР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА <i>Блудов А.Н., Кошелев В.В.</i>	155
ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ <i>Быков А.А., Калюкин П.А.</i>	164
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТНОГО ХОЗЯЙСТВА НА АО «КОМБИНАТ «КМАРУДА» <i>Климов В.Н., Самсонов А.С., Шляхов А.М.</i>	169
УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ РЕМОНТОВ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РАСТОЧНО-НАПЛАВОЧНОГО КОМПЛЕКСА <i>Климов В.Н., Шляхов А.М., Самсонов А.С.</i>	174
ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА (СТК) ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА <i>Козырев П.И., Прасолов А.В.</i>	180
МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ ДРЕНАЖНОЙ ШАХТЫ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА <i>Козырев П.И., Лесниченко С.С.</i>	186

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА <i>Козырев П.И., Сергеев И.А.</i>	192
УЧЕТ СТАТЕЙ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ <i>Королькова Л.Н., Велеменчук С.Н.</i>	198
АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ И ТРАВМАТИЗМА ПРИ РАБОТЕ С ГРУЗОПОДЪЕМНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ <i>Левина Т.А., Чуева В.А.</i>	202
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ <i>Сайдаминов И.А., Холов Т.Б.</i>	208
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НАГРУЗОК В МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ И ОБЗОР МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В КОПАЮЩИХ МЕХАНИЗМАХ КАРЬЕРНЫХ МЕХЛОПАТ <i>Сайдаминов И.А., Головин Д.С.</i>	213
ВЫЯВЛЕНИЕ ГРУБЫХ ПРОМАХОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ <i>Тарасенко Г.М., Бурлай Р.Р.</i>	219
ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ <i>Терехин Е.П., Кусенова Д., Хворостянова В.И.</i>	223
ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ «НОВАЯ» НА ПОСТОЯННОМ БОРТУ КАРЬЕРА СГОКА <i>Еланцева Л.А., Фоменко С.В.</i>	231
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЭКОЛОГИИ <i>Чуева Е.А., Шевченко Д.А.</i>	236
СЕКЦИЯ 3 «ГОРНОЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»	242
АНАЛИЗ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИВОДА ДРОБИЛКИ <i>Белов Н.В.</i>	242
ДИНАМИКА РАБОТЫ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРИВОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ <i>Белов Н.В., Бородина М.Б., Мироненко С.В.</i>	249
О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СРЕД ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ <i>Жулдыбин А.А., Владимиров А.А., Макаров А.В.</i>	259
ЗАДАЧИ ОБРАТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КЛАПАНА RE240 <i>Казанцев А.А., Новиков Д.А.</i>	265
ЗАДАЧИ ОБРАТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОСОЗУБЫХ ПЕРЕДАЧ РЕДУКТОРА <i>Казанцев А.А., Терехин Е.П., Доброван Д.С.</i>	271
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАТРУБКОВ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ <i>Кислов С.В., Кислов В.Г., Шаповалов А.И., Скрипцов Д.Р.</i>	278
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В УСТРОЙСТВЕ ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ-ЭЛЕМЕНТОВ <i>Кудинов Е.А., Владимиров А.А.</i>	284

РАСЧЕТ ВЕЛИЧИН ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ НАИБОЛЕЕ НАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ	291
<i>Кудинов Е.А., Владимиров А.А., Макаров А.В.</i>	
ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ НАПЛАВОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ASM 4430-SA, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТУГОПЛАВКИМИ КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОЛИКОВ РОЛЬГАНГА ПРОКАТНОГО СТАНА	300
<i>Макаров А.В., Владимиров А.А.</i>	
ИМПРЕГНИРОВАНИЕ АЛЮМИНИДНЫХ МЕТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СТОЙКОСТИ	306
<i>Невежин С.В., Герасимов А.С., Беликов С.В., Балин А.Н.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ASM-4430, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТУГОПЛАВКИМИ КОМПОНЕНТАМИ	313
<i>Новоточинов А.П.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ASM-4430, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТУГОПЛАВКИМИ КОМПОНЕНТАМИ	319
<i>Новоточинов А.П.</i>	
К ВОПРОСУ ОБ УПРОЧНЕНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ	325
<i>Титов М.В., Афонин А.Н.</i>	
АНАЛИЗ СОСТАВОВ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ НАПЛАВКИ РОЛИКОВ МНЛЗ И РОЛЬГАНГА	330
<i>Часовских А.С., Макаров А.В.</i>	
СЕКЦИЯ 4 «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»	339
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ НАГРЕВА ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В ПЕЧАХ НАГРЕВА МЕТАЛЛА	339
<i>Адаменко А.А., Фомин А.В.</i>	
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА	346
<i>Антилов А.О., Халапян С.Ю.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ	351
<i>Борисова М.А., Лебедев Т.С.</i>	
СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ МОСТОВЫМ КРАНОМ	358
<i>Воробьев В.С.</i>	
РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАЦИИ 1С ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ПРЕДПРИЯТИЯ (ОРГАНИЗАЦИИ)	363
<i>Гаджиева У.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОЙ МАШИНЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЗАПАЗДЫВАНИЯ В КАНАЛЕ ДПР-ДМ-Ф	372
<i>Гамбург К.С., Уварова И.В., Лазарева Т.И.</i>	
МИНИМИЗАЦИЯ ПУЛЬСАЦИИ МОМЕНТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНОЙ МАШИНОЙ	377
<i>Гамбург К.С., Уварова И.В., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.</i>	

РАСЧЕТ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ В СУ СД С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ	382
<i>Гамбург К.С., Уварова И.В., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.</i>	
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРИВОД ПО СИСТЕМЕ ПЧ-СД С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕНТИЛЬНОЙ МАШИНЫ	386
<i>Гамбург К.С., Уварова И.В., Лазарева Т.И.</i>	
О ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ ЗАГОТОВКИ В ПЕЧАХ НАГРЕВА СПЦ-1 АО «ОЭМК ИМ. А. А. УГАРОВА»	391
<i>Гмыря Э.Э., Фомин А.В.</i>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ВРЕМЕННОГО РЯДА	396
<i>Докукин В.М., Цыганков Ю.А.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА РЕЗУЛЬТАТОВ ВЗВЕШИВАНИЯ ШАРОПРОКАТНОЙ ПРОДУКЦИИ	402
<i>Загоруйко С.В., Ковтун Н.И.</i>	
ПОСТРОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИТУАЦИОННОГО ПОДХОДА И ВЫВОДА НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ	406
<i>Коврижных О.А., Полеценко Д.А.</i>	
О ПРИМЕНЕНИИ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ ДЛЯ РАННЕГО РАСПОЗНАВАНИЯ ШЛАКА	413
<i>Коренев А.В., Полеценко Д.А.</i>	
ВАЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ В АСПЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ	418
<i>Коренев А.М.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗА С ПОДАВЛЕНИЕМ КОЛЕБАНИЙ	421
<i>Косарев И.В., Молодых А.В.</i>	
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ ПРИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ	426
<i>Кривоносов В.А., Козырь О.Ф.</i>	
ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИКЛОВ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕКРЕСТКА	430
<i>Курманова Д.А.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ГЕНДЕРНЫХ РАЗЛИЧИЙ СРЕДИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ВУЗЕ	436
<i>Медведева В.С., Кузнецова Е.В.</i>	
РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «ВЕЕМОНИТОР»	441
<i>Медведева О.Е., Лазькова Г.М., Назаров Д.Е.</i>	
К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК	444
<i>Моторина Н.П., Тетеревлёва Е.В.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПОМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНМУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ	450
<i>Назаров Д.Е., Мельникова К.Э., Полеценко Д.А.</i>	
АНАЛИЗ ПОХОДКИ. ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ	454
<i>Небольсин В.Д., Халапян С.Ю.</i>	

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩЕЙ СРЕДЫ <i>Основина О.Н.</i>	459
АНАЛИЗ ШУМОВЫХ СВОЙСТВ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА <i>Основина О.Н., Бочаров Н.А.</i>	465
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА <i>Основина О.Н., Бочаров Н.А.</i>	471
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОШУМЯЩИХ УСИЛИТЕЛЕЙ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ <i>Основина О.Н., Бочаров Н.А.</i>	476
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОНТОЛОГИЙ <i>Основина О.Н., Сверчкова К.С.</i>	482
ОЦЕНКА ПЛАТЁЖЕСПОСОБНОСТИ КЛИЕНТОВ БАНКОВСКИХ КРЕДИТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ <i>Рубан А.В., Симонова А.Г.</i>	488
К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕЖКОНТУРНЫХ ВНУТРИПЕЧНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ <i>Савостин Н.В., Фомин А.В.</i>	493
ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ <i>Сверчкова К.С., Основина О.Н.</i>	498
ОЦЕНКА КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКА В БАНКОВСКИХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ <i>Симонова А.Г., Симонова М.Н.</i>	502
ОЦЕНКА КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКА В БАНКОВСКИХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ DATA MINING <i>Симонова А.Г., Симонова М.Н.</i>	507
РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАТОРА КОМПЬЮТЕРНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ <i>Симонова А.Г., Симонова М.Н.</i>	512
РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЧИСЛА ЗЕРЕН В КУКУРУЗНОМ ПОЧАТКЕ <i>Смирнов Д.А., Цыганков Ю.А., Полещенко Д.А.</i>	517
О КОРРЕЛЯЦИИ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ И ВИБРОУСКОРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЕЕ БАРАБАНА <i>Соколов Д.И., Полещенко Д.А.</i>	523
ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРВОПРИВОДА 5-ОЙ ОСИ МАНИПУЛЯТОРА <i>Станкевич В.Е.</i>	528
РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ПЯТИЗВЕННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА <i>Станкевич В.Е.</i>	533

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ПЯТИЗВЕННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА <i>Станкевич В.Е.</i>	538
РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПО СНАБЖЕНИЮ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБЪЕКТА <i>Тетеревлева Е.В., Моторина Н.П., Севостьянова О.П., Отев К.С.</i>	544
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ В БУНТЕ <i>Устимов В.Ю., Полещенко Д.А.</i>	550
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫМ КОНВЕЙЕРОМ <i>Цуканов А.В.</i>	556
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ <i>Цуканов А.В.</i>	560
О ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АКАДЕМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ <i>Цыганков Ю.А., Соловьев А.Ю., Сергейчик М.С., Жестовских А.В.</i>	565