

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КУЗБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:  
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**ЧАСТЬ III**

*Труды Всероссийской научной конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
11-13 мая 2011 г.*

**выпуск 15**

**Новокузнецк  
2011 г.**

ББК 72.4(2)713660

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / под общей редакцией Л.П. Мышляева; СибГИУ. – Новокузнецк, 2011. – Вып. 15. – Ч. III. Технические и естественные науки. – 359 с.

Редакционная коллегия:

д.х.н., профессор Горюшкин В.Ф. (секция «Естественные науки»), к.т.н., доцент Власкин Ю.К. (секция «Перспективные технологии разработки месторождений полезных ископаемых»), д.т.н., профессор Протопопов Е.В., д.т.н., профессор Галевский Г.В. (секция «Металлургические процессы, технологии и оборудование»), д.т.н., профессор Афанасьев В.К. (секция «Новые материалы и упрочняющие технологии»), д.т.н., профессор Дворников Л.Т., д.т.н., профессор Воскресенская Т.П. (секция «Теория механизмов, машиностроение и транспорт»), д.т.н., профессор Кулаков С.М. (секция «Новые информационные технологии и системы автоматизации управления»).

**Под общей редакцией Л.П. Мышляева**

В сборнике представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ.

III часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных и технических наук: перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых, металлургических процессов, технологии и оборудования, новых материалов и упрочняющих технологий, теории механизмов, машиностроения и транспорта, новых информационных технологий и систем автоматизации управления.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISBN 5-7806-0244-4

Сибирский государственный  
индустриальный университет  
2011

## **I. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**

УДК 94: 327 (5)

### **МЕЖДУНАРОДНЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОГО ЭТАПА АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

**Ерилова Е.В.**

**Научные руководители: к.т.н., доцент Масловская З.А.,  
к.т.н., доцент Ерилова Т.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Российская атомная энергетика получила новый импульс развития. В настоящее время в России действуют 10 АЭС. В настоящее время развитие атомной энергетики осуществляется путем продлевания сроков службы действующих атомных электростанций (АЭС) и строительства новых реакторов, отвечающих современным требованиям безопасности. К 2015 г. в России планируется построить десять новых АЭС. К 2030 г. доля атомной энергии в общем потреблении энергии в России должна подняться с 14 до 25 %. Россия усиливает свою роль на мировом рынке ядерных технологий. При строительстве АЭС наибольший интерес представляют для России рынки Китая, Индии, Центральной и Восточной Европы, затем рынки стран СНГ, Турции, Вьетнама и Латинской Америки.

Ядерные технологии – это не только дорогостоящий и наукоёмкий рынок, но и объект большой политики. Конкуренты пытаются вытеснить Россию с её традиционного рынка – поставок ядерного оборудования и топлива на АЭС, ранее построенные СССР в Болгарии, Венгрии, Финляндии, Чехии и Словакии.

Возобновилось замороженное в начале 90-х годов строительство АЭС с Российскими реакторами ВВЭР в Болгарии, Словакии. Для завершения начатого ранее строительства необходима кооперация с западноевропейскими партнёрами. Восточноевропейские страны стали частью Европейского Союза (ЕС), который поддерживает недавно разработанный проект АЭС с реактором EPR (European pressurized reactor), уже своим названием претендующим на основной тип АЭС в Европе. Французская компания сообщила о намерении построить четыре новых АЭС в Великобритании.

Вступление Финляндии в ЕС и ее потребности в блоке большей мощности, привело к тому, что Российские представители проиграли тендер на строительство 5-го блока АЭС в Финляндии. Не смотря на то, что российские специалисты имели практический опыт строительства двух энергоблоков в этой стране на АЭС «Ловииза», которые длительное время лидируют по коэффициенту использования установленной мощности.

Строительство блока с реактором EPR началось в 2005 г. в Финляндии.

Впервые в постсоветской истории в 2007 году были сданы в эксплуатацию два блока Тяньваньской АЭС, сразу ставшей самой мощной атомной станцией в Китае. Были использованы передовые идеи и применены самые современные технологии. Так при строительстве АЭС под корпусом реактора впервые была установлена «ловушка» для задержания и расхолаживания расплавленной активной зоны. Новым стало и то, что здание реактора укрыто двойной оболочкой. Внутренняя герметичная оболочка реактора исключает проникновение радиации за её пределы, а наружная предназначена для защиты реактора от нежелательных воздействий со стороны внешней среды, в том числе от тяжелых падающих предметов и взрывной ударной волны. Введена четырёхканальная структура системы безопасности, комбинация активных и пассивных устройств защиты, цифровая система контроля и управления. Задержки в сроках сдачи объектов, которые наблюдались в ходе строительства Тяньваньской АЭС, были обусловлены высочайшим уровнем ответственности.

Российские предприятия рассчитывают на продолжение сотрудничества. Россия и КНР 6 ноября 2007 г. подписали соглашение о строительстве второй очереди Тяньваньской АЭС. Следует отметить, что вторая очередь уже является серией. Россия может предлагать данные блоки с реакторами ВВЭР проекта АЭС-91 на мировом рынке как серийный продукт. Вторую очередь планируется сдать к 2015 г.

Вместе с тем при сооружении второй очереди станции Китай планирует углубить производственную кооперацию российских предприятий и организаций с компаниями из третьих стран и рядом китайских организаций и институтов. Китай проводит многостороннюю политику в сфере сотрудничества в атомной энергетике. Так, КНР собирается клонировать технологии американских блоков AP-1000 для использования в собственных проектах, но эта технология не использовалась даже в США, т.е. не прошла апробацию. Франция построит 2 реактора EPR. Китай намеренно диверсифицирует источники технологий, вводит на свой рынок многих игроков.

Осуществляется сотрудничество в области создания плавучей АЭС на производственных мощностях в Северодвинске. Плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) сможет обеспечить электроэнергией и теплом город с населением 50 тыс. человек. Китай планирует поставлять судно для плавучей АЭС и инвестирует данные проекты. В 2010 г. состоялся спуск на воду. В 2013 г. планируется начало опытно-промышленной эксплуатации. России необходимо перед экспортом станций опробовать их у себя. В этом случае плавучие АЭС могут стать серийным продуктом и поставляться в страны Юго-Восточной Азии.

Первые коммерческие атомные электростанции запустили в 1950-х гг. Многие страны также построили исследовательские ядерные реакторы как источник пучков нейтронов для научного исследования и производства

изотопов для медицины и промышленности.

По состоянию на апрель 1999 г., по данным МАГАТЭ, в мире на АЭС работали 434 реактора. АЭС имеются в 15 государствах ЕС. Франция – лидер атомной энергетики Европы. В 1999 г. с помощью атома произведено во Франции около 80 % электроэнергии, в Литве – 75 %, в Бельгии – 55 %, в Швеции – 46 %, в Южной Корее – 41 %, в богатой гидроресурсами Швейцарии – 41 %, в Нидерландах – 3,5 %. Институт информации энергокомпаний США приводит такие цифры: за период с 1980 по 2000 годы, в США был введен в коммерческую эксплуатацию 51 ядерный энергоблок. А в Европе введены блоки: в 1989 г – в ФРГ, в 1995 г. – в Англии, в 2000 году – блоки во Франции и в Словакии.

По данным МАГАТЭ в начале 2007 г. в мире действовало 439 ядерных реакторов, 30 строились, 74 находились в стадии инженерно-конструкторской разработки, и 182 реактора ждали утверждения правительствами своих стран. Спрос на атомную энергию самый высокий в Азии. В настоящее время в 8 государствах Азии работает 103 атомных энергоблока. По различным оценкам к 2020 г. в Азии планируется сооружение от 40 до 80 АЭС. В Китае доля электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, вырастет с 2 % в настоящее время до 4 % в 2020 г.

Первые планы по сооружению АЭС в Иране относятся ещё к шахскому режиму до революции 1979 года. Сооружение первой в Иране и во всем регионе атомной электростанции было начато в 1975 году в Бушере филиалом германской компании Siemens. Из-за произошедшей в Иране в феврале 1979 года исламской революции и начавшегося вскоре после этого ирано-иракского вооруженного конфликта строительные работы прекратились, а контракт был расторгнут. Повторный интерес Ирана к атомной энергии приходится на начало 90-х годов. Реализация атомной программы Ирана не могла обойтись без зарубежной помощи. В разное время партнерами Ирана в этой области выступали США (до 1979 г.), Аргентина, Бразилия, Пакистан, Китай, Индия, Германия. По различным причинам (в том числе и под влиянием США) все эти страны прекратили сотрудничество с Ираном.

Сотрудничество России и Ирана стало взаимовыгодным. В условиях отсутствия заказов на атомное энергетическое оборудование в 90-х годах XX века реализация атомных проектов в Иране позволила вывести из кризиса отрасль российской промышленности. В проектах было задействовано более 250 тыс. работников на более чем 300 предприятиях. 8 января 1995 г. Россия и Иран подписали договор о завершении строительства 1-го энергоблока Бушерской АЭС. Согласно договору Россия обязалась поставить легководный реактор мощностью 1 ГВт и обеспечить его ядерным топливом. Существовал ряд технических проблем, которые срывали график работ. Основные претензии, предъявляемые Ирану Агентством, заключаются в том, что ядерная программа Ирана недостаточно прозрачна. Агентство способно контролировать нынешнюю ядерную деятельность. В тоже время у

МАГАТЭ нет полной информации о прошлом иранской ядерной программы, когда Иран в течение 18 лет тайно закупал технологии на черном рынке ядерных материалов. Тегеран мотивировал это необходимостью развития атомной энергетики в условиях, когда все остальные страны отказались предоставить помощь Ирану. В прошлом иранской ядерной программы остается все меньше белых пятен. МАГАТЭ провело верификацию и опломбирование ядерного топлива для АЭС «Бушер», эта процедура предшествует отправке топлива из России в Иран. Топливо поставили за 6 месяцев до физического пуска.

12 сентября 2011 г. на Бушерской АЭС в Иране состоялся пуск энергоблока № 1. Российские специалисты будут в течение года осуществлять гарантийное сопровождение станции, затем эксплуатация АЭС будет полностью осуществляться иранскими инженерами. Отработанное ядерное топливо (ОЯТ) будет возвращаться в Россию. Западные страны критиковали Россию за участие в проекте. Россия и Иран на это заявляли, что речь идет исключительно о мирном атоме.

Первые реакторы, построенные на «Фукусиме» почти 40 лет назад по американским проектам, не подходили для сейсмической зоны Японии. Вследствие землетрясения и цунами аварию на АЭС «Фукусима» (11 марта 2011 г.) вначале определили уровнем 4, а затем присвоили уровень 7, уравнивая с Чернобылем (1986 г.). В Чернобыле пострадал один реактор, а в Японии – 3 реактора и 4 хранилища радиоактивных отходов. В результате отключения системы охлаждения расплавилось ядерное топливо в реакторе. Планируют построить со стороны океана железную стену длиной 800 метров вокруг водозаборов четырех реакторов АЭС, чтобы предотвратить утечку в море радиоактивной воды.

В настоящее время в Японии из 54 атомных реакторов работают 12: часть из них выведена из строя в результате землетрясения 11 марта 2011 г., часть (39) – остановлена после катастрофы на профилактический плановый осмотр. Для перезапуска, энергоблоки проходят техосмотр и стресс-тесты с участием представителей МАГАТЭ. Перезапустить станции необходимо для обеспечения стабильного энергоснабжения Японии. 17 августа первой запущена остановленная АЭС «Томари».

Переход Японии на другие источники энергии может занять не менее 10 лет, считают эксперты, т.к. станции требуют постепенной консервации, а тепловых мощностей в стране недостаточно. С учетом отсутствия собственных ресурсов в первую очередь упор будет делаться на возобновляемые источники энергии, а лишь затем на уголь и газ. Могут быть реанимированы прежние, хотя и достаточно затратные проекты в этой области, например, по выводу солнечных батарей на орбиту Земли. Но Япония видела большие перспективы рынка строительства атомных станций в других странах, и готова была участвовать в строительстве АЭС, в том числе в США, и тепловых станций в самой Японии.

Сейчас многие страны настороженно относятся к атомной энергии. В

частности, Швейцария и Германия решили отказаться от строительства новых АЭС. Авария вызвала новую волну беспокойства относительно ядерной энергетики во всем мире. В частности это заставило Германию принять решение заглушить все свои реакторы после 2022-го года, а итальянских избирателей – проголосовать против возврата к использованию ядерной энергии.

При закрытии АЭС страны лишаются энергетической независимости и лишаются высоких технологий. Украина и Болгария, вырабатывающие около 40 % своей электроэнергии на АЭС, в случае их закрытия вынуждены будут покупать энергию во Франции. Казахстан, продающий «просто» уран более удобен и выгоден Западу, чем Казахстан, имеющий свои АЭС, выходящий на рынки реакторного топлива и электроэнергии.

Специалисты и руководители атомной отрасли рассматривают отработанное ядерное топливо (ОЯТ) как стратегический запас, сырьевой ресурс. Противники ввоза ОЯТ в Россию отмечают, что этот ресурс не торгуется на мировых биржах, как например, уран. ОЯТ является отходом для стран, имеющих АЭС, что подтверждает финансовый механизм сделки. Сторона, избавляющаяся от отходов, платит стороне, принимающей эти отходы, за перенос ущерба.

Долгосрочный контракт (5–10 лет) на ввоз в Россию ОЯТ с Южно-Украинской АЭС подписан 11.02.2011 г., т.к. на Украине еще не введено в эксплуатацию централизованное хранилище ОЯТ. «Стоимость услуг возросла до 1600–1800 евро за кг тяжёлого металла, тогда как европейская цена – 1200–1400 евро. Мы ожидаем, что российская сторона пойдет нам на уступки, с тем, чтобы снизить эту социально-экологическую надбавку, которая на сегодня составляет 40%», – сообщил президент компании «Энергоатом» Украины Ю. Недашковский. Рассматриваются вопросы о ввозе в Россию ОЯТ из Польши и Германии.

Стоимость хранения ОЯТ зарубежных АЭС, размещенных внутри отсеков подводных лодок на береговых площадках временного хранения, составляла, на начало 2007 г., примерно 500-600 долларов за один кг ядерного топлива. Но нельзя и не учесть, что облученные ТВС с четырех действующих блоков АЭС в Финляндии и строящегося 5-го блока в настоящее время планируют размещать на длительное хранение в хранилище под дном Балтийского моря.

Существует приоритетность права вернуть образовавшиеся после переработки радиоактивные отходы в государство происхождения ядерных материалов или обеспечить их возвращение. Однако следует отметить, что ОЯТ в составе облученных тепловыделяющих сборок (ТВС) с АЭС, даже построенных по проектам и с помощью специалистов СССР, включая и поставленные на эти АЭС уже российскими предприятиями ТВС, как правило, не возвращают в Россию.

Возможность предложить стране, не имеющей ни комбината по переработке ОЯТ, ни специалистов в этой области, но заинтересованной в

сооружении АЭС на своей территории, удалять ОЯТ качественно изменяет конкурентоспособность государства как в части поставок ТВС, так и сооружения в третьих странах самих атомных станций. В результате продолжается развитие наукоемкой сферы и своей страны, и освоение высокотехнологичных ниш региональных рынков, откуда все чаще поступают запросы на строительство новых атомных станций. Некоторые страны, например, Франция и Великобритания, уже создали мощные производственные комплексы по переработке ОЯТ, интенсивно регенерируют облученное топливо как своих, так и зарубежных стран, включая АЭС Японии, страны, где планируют перерабатывать облученное топливо сами. В других государствах, например, в Финляндии и США, где экологическим вопросам также уделяют значительное внимание уже десятки лет, пока размещают или планируют складировать ОЯТ на длительные сроки, оцениваемые многими десятками и сотнями лет. И те, и другие стремятся обеспечить свои комплексы по переработке и комплексно-хранилища портфелями заказов, одновременно стараясь не допустить Россию на рынок хранения и (или) регенерации зарубежного ОЯТ, даже ОЯТ, изготовленного в России.

На совещании в сентябре 2011 г. МАГАТЭ предлагает заново проинспектировать все 440 АЭС мира. Представитель международной экологической организации «Гринпис» Аслихан Тумер раскритиковал МАГАТЭ в вопросах ядерного контроля: «Стандарты ядерной безопасности, принятые во всем мире, сегодня явно недостаточны. Их необходимо ужесточить и их контроль нельзя отдавать на откуп национальным правительствам». Госсекретарь США Х. Клинтон сказала, что администрация Обамы считает атомную энергию одним из важнейших факторов, обеспечивающих удовлетворение мировых потребностей в энергии, что очень важно «быть начеку и постоянно осознавать наличие внешних угроз и внутренних проблем во избежание повторения аварий».

Сегодня на мировом рынке сооружения АЭС наблюдается жестокая конкуренция между различными проектами. Одной из причин обострения конкурентной борьбы является повышение требований заказчиков к предлагаемым проектам. Стоит отметить, что в ходе тендеров в различных странах большую роль играют и межгосударственные связи. Основное конкурентное преимущество французской атомной энергетики – высокий уровень безопасности. Конкурентные возможности российских компаний выражаются в технологическом плане и экономичности при строительстве и эксплуатации АЭС. Франция активно сотрудничает с Россией, прежде всего, в научной сфере, в сфере разработки инновационных технологий в атомной энергетике.

Россия укрепила свои позиции на международном рынке атомной энергетики. Сейчас Россия – один из мировых лидеров по количеству энергоблоков, сооружаемых за рубежом (16% мирового рынка услуг по строительству АЭС). В настоящее время по соглашению с другими странами



Россия строит два энергоблока в Индии, два – в Болгарии и один – в Иране. Проектируются АЭС во Вьетнаме, Бангладеш, Беларуси и Турции.

Итак, продолжается конкуренция в наукоемкой области на мировом рынке сооружений АЭС, а также по вопросам ввоза, хранения и переработки ОЯТ. Заказчики осуществляют выбор проектов с учетом затрат – как единовременных, так и имеющих место на протяжении всего жизненного цикла АЭС. При работе на экспорт компании опираются на свои конкурентные преимущества, наработанные на внутреннем рынке.

#### Библиографический список

1. Ядерная и термоядерная энергетика будущего [Текст] / под ред. В.А. Чуянова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.

2. Трофимова, Т.И. Краткий курс физики [Текст] : учебное пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – 7-е изд., стер. – М. : Высшая школа , 2009. – 352 с. : ил. – ISBN 9785060061161.

3. Зигфрид Ауст. Атомная энергия [Текст] / А. Зигфрид, перевод с немецкого С.Б. Гутника, научный редактор В.Г. Сурдин. – Слово, 1989. – 48 с.

4. Атомная энергетика РФ. История и перспективы развития, основные проблемы и геополитика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://noopolis.ru/articles/503\\_print.shtml](http://noopolis.ru/articles/503_print.shtml)

5. Атомная энергетика Франции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ambafrance.ru/rubrique.php3?id\\_rubrique=124](http://www.ambafrance.ru/rubrique.php3?id_rubrique=124)

6. «Росэнергоатом» подписал соглашение о сотрудничестве с французской EDF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosatom.ru/press-releases/06.2006>

7. Строительство плавучей АЭС [Электронный ресурс]: Гражданский Центр ядерного нераспространения. – Режим доступа: <http://nuclearno.ru/textml.asp?10972>

8. Япония выводит атом из страны. Германия заглушит свои реакторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gazeta.ru/business/2011/09/06/3757833.shtml>

9. Медведев Ж.А. Никакой программы ликвидации последствий аварии у японцев нет [Текст] / Ж.А. Медведев // Комсомольская правда (21 апреля 2011 г.). – № 15 – С. 6–7.

УДК 54.01

## ХИМИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ

**Алёшин Н.Д.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Ерилова Т.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Развитие химических концепций начинается с античных времён.

Дальнейшее развитие идей об атомах Левкиппа и Демокрита, как основе вещества, связано с идеями Р. Бойля и И. Ньютона, а затем Э. Резерфорда и Н. Бора. Основоположником системного подхода в химии стал Д.И. Менделеев, открыв периодический закон. Закономерности объясняются современными данными о составе атомного ядра и о распределении электронов в атомах.

В конце XX века распространены две формы таблицы химических элементов. Короткая форма таблицы содержит восемь групп. В длинной форме таблицы расположены элементы по восемнадцати вертикальным рядам. Современная длинная форма таблицы рекомендована к применению с 1989 года [1].

Для синтеза стабильных сверхтяжелых элементов с порядковыми номерами от 114 до 164 разрабатываются новые экспериментальные методы и технические средства. Использование радиоактивных изотопов приносит пользу человечеству, однако только в малых дозах радиация безопасна.

Выделяют четыре уровня химических знаний: учение о составе; структурная химия; учение о химических процессах и эволюционная химия [2].

На первом уровне химического знания ученые решали и решают три проблемы: химического элемента; химического соединения; создания новых материалов. Современной науке известно 118 химических элементов. Элемент 110 получил название дармштадтий. Атомы девяноста двух видов (до урана) стабильны, ядра атомов от 102 и далее оказались нестабильными.

Долгое время химики эмпирическим путем определяли, что относится к химическим соединениям, а что – к простым телам или смесям. Затем на основе стехиометрической модели вещества выработался язык описания химических реакций в форме уравнений, которые представляют собой классическую модель химических превращений.

С неклассической точки зрения деление веществ на соединения постоянного (дальтонида) и переменного состава (бертоллида) – лишь историческая условность. Классификация конкретного вещества целиком зависит от точности методов определения состава. Обменное взаимодействие электронов связывает компоненты. Устойчивость молекул зависит от энергии связи.

Задачами современной химии являются управление реакциями и получение вещества с заданными свойствами. Для рационального использования ресурсов заменяют дефицитное сырьё имеющимся в изобилии, утилизируют отходы, используют вторичное сырьё, заменяют металлы керамикой, производят фторорганические соединения.

Второй уровень познания в химии связан с рассмотрением структуры вещества. Теория химического строения вещества А.М. Бутлерова позволила строить структурные формулы химического соединения. Позже теория обоснована на основе квантовой механики и введено понятие атомной и молекулярной структуры.

Химия превратилась в синтетическую науку. Получены материалы, отсутствующие в природе или добыча которых велась в ограниченных количествах и с огромными затратами. Созданы металлоорганические соединения, имеющие двухслойную структуру.

На третьем уровне химии изучены условия протекания реакций. Температура, давление, концентрация исходных веществ, катализ ускоряют реакции. Термодинамические методы влияют на направление химических процессов, а не на скорость [3].

Большинство современных химических технологий реализуются с использованием катализаторов. Развивается направление – энергетическая активация реагентов, т.е. подача больших энергий извне, до состояния полного разрыва исходных связей.

Четвертый уровень познания химии связан с поиском условий, когда идет самосовершенствование катализаторов. Самоорганизация химических систем свойственна клеткам живых организмов. В 1960-х годах открыты случаи самосовершенствования катализаторов в ходе реакции. Следствием теории саморазвития открытых каталитических систем стала нестационарная кинетика. Стационарный режим выступает лишь частным случаем нестационарного режима [4].

В современных условиях активно развиваются химия плазмы, радиационная химия, химия высоких давлений и температур.

Известны модификации формы атомов углерода в виде алмаза, графита, фуллеренов. Фуллерены это – объёмные наномолекулы, имеющие 60 и более атомов углерода. Графен имеет углеродные слои толщиной в один атом. Фуллерены были теоретически предсказаны, а затем экспериментально получены. Теоретически доказано, что пустотелые углеродные молекулы должны состоять из пяти- и шестигранников, а количество атомов в них равняться двадцати плюс некоторое целое число. Нанотрубки бывают и разветвлёнными, и замкнутыми в кольцо. Фактически нанотрубка – это графитовая сетка толщиной в один или несколько атомов, свёрнутая в длинный рукав. Нановолокнами называют многослойные нанотрубки разнообразнейших каркасных форм диаметром более 100 нм. Созданы промышленные технологии, базирующиеся на особых химических, тепловых, механических, электронных, оптических и прочих свойствах углеродных нанотрубок [5].

Эволюционная химия – это направление исследований совокупности химических наук, изучающих развитие живой природы во времени. Изучаются процессы самоорганизации химических систем, происходящие в клетках живых организмов. Создаются методы управления химическими процессами в живых организмах.

Эволюцией произведен своеобразный химический отбор веществ. Из всех химических элементов только шесть органоенов отобраны природой в основу биосистем. Из миллионов органических соединений в построении живого участвуют лишь несколько сотен. Из ста известных аминокислот в

состав белков входит только двадцать.

Теория саморазвития открытых каталитических систем (А.П. Руденко, 1964 г.) преобразована в общую теорию химической эволюции и биогенеза. Эволюционирующим веществом являются катализаторы. Следствия этой теории – сложность и иерархия химических систем, установление пределов химической эволюции и перехода от хемогенеза к биогенезу.

Исторически сформировалось несколько концепций по решению проблемы происхождения жизни. К ним относят креационизм; концепцию многократного самопроизвольного зарождения жизни из неживого вещества; концепцию стационарного состояния; концепцию панспермии; концепцию биохимической эволюции. Общепринятой в естествознании считается концепция биохимической эволюции.

#### Библиографический список

1. Сайфуллин Р.С. Современная форма таблицы Менделеева [Текст] / Р.С. Сайфуллин, А.Р. Сайфуллин // Наука и жизнь. – 2004. – № 7. – С. 2 – 7.
2. Садохин А.П. Концепции современного естествознания [Текст] : учебник для вузов / А.П. Садохин. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2006. – 447 с. – С. 184–211.
3. Пермяков П.Г. Основные закономерности протекания химических процессов в газообразных и конденсированных системах [Текст] : учеб. пособие / П.Г. Пермяков, М.Х. Ахметов, С.В. Зенцова : Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : СибГИУ, 2009. – 108 с.
4. Лозовский В.Н. Концепции современного естествознания [Текст] : учеб. пособие / В.Н. Лозовский, С.В. Лозовский. – СПб. : Изд-во Лань, 2004. – 224 с.
5. Гурьянов А. Трубки завтрашнего мира [Текст] / А. Гурьянов // Наука и жизнь. – 2010. – № 2. – С. 16 – 21.

УДК 622.6

### **ФУЛЛЕРЕНА: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ**

**Гилева Н.А., Лапуха А.Е.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Целью данной работы является анализ современного состояния получения и применения фуллеренов.

В настоящее время существует много новых синтетических материалов, один из таких материалов - фуллерены. Их открытие признано одним из удивительных и важнейших открытий в науке XX столетия.

## Структура

Фуллерены - молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода и представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа трёхкоординированных атомов углерода.

Самый симметричный и наиболее полно изученный представитель семейства фуллеренов — фуллерен  $C_{60}$ , где цифра 60 обозначает общее число атомов углерода в молекуле [1].

Молекула фуллерена  $C_{60}$  состоит из 20 шестиугольников и 12 пятиугольников, в вершинах которых находятся атомы углерода, и обладает высокой симметрией. Все атомы углерода в молекуле эквивалентны и связаны между собой как одинарными, так и двойными связями. Каждый атом углерода в молекуле фуллерена  $C_{60}$  связан с тремя другими атомами углерода одной короткой и двумя длинными связями.

Следующим по распространённости является фуллерен  $C_{70}$ , отличающийся от фуллерена  $C_{60}$  вставкой пояса из 10 атомов углерода в экваториальную область  $C_{60}$ , в результате чего молекула  $C_{70}$  оказывается вытянутой.

Фуллерены, содержащие большее число атомов углерода (до 400), образуются в значительно меньших количествах и часто имеют сложный изомерный состав [2].

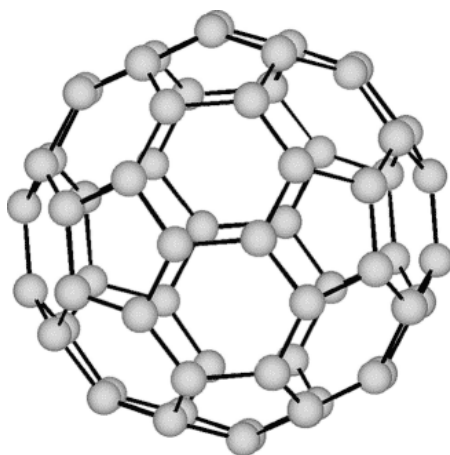


Рисунок 1 – Шаростержневая модель молекулы фуллерена-60

## Свойства

Фуллерены в конденсированном состоянии называют «фуллеритами», а легированные металлами или другими элементами - «фуллеридами».

Внешне фуллерены представляют собой мелкокристаллические порошки черного цвета без запаха. В воде, этаноле, ацетоне и других полярных растворителях они практически нерастворимы, зато в бензоле, толуоле, фенилхлориде растворяются с образованием окрашенных в красно-фиолетовый цвет растворов.

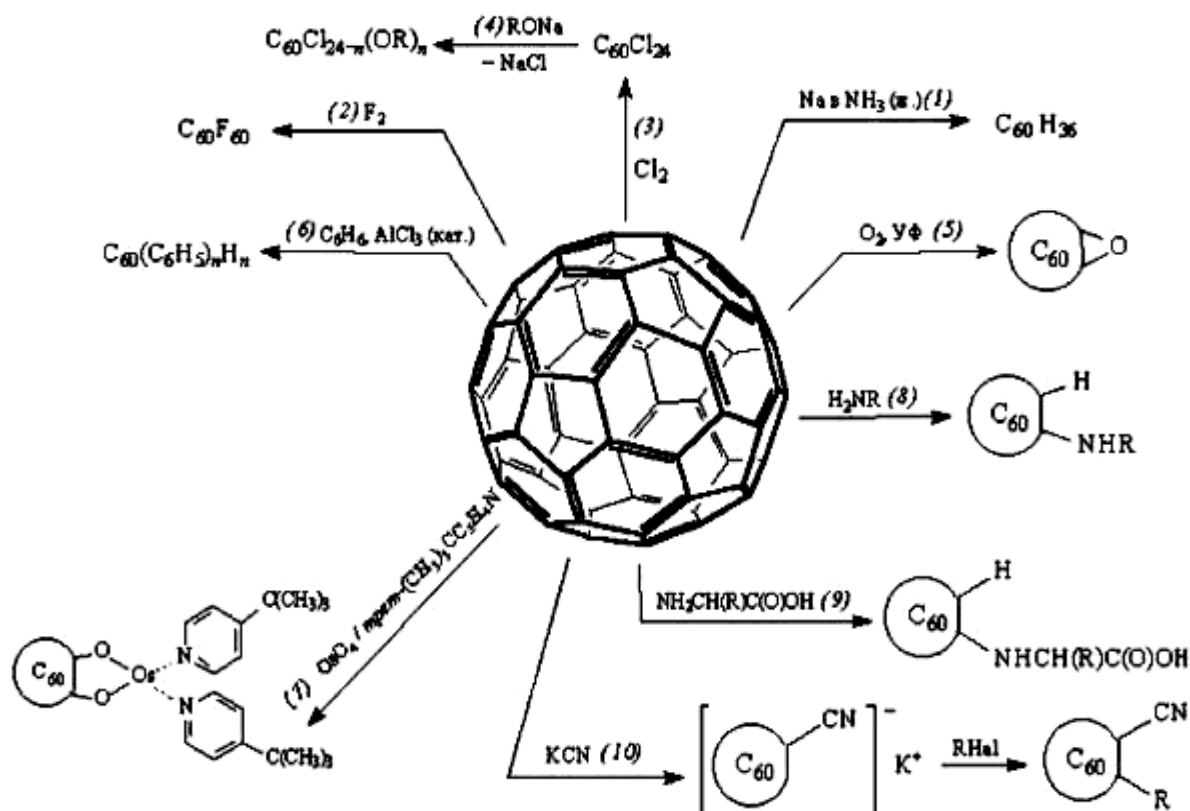


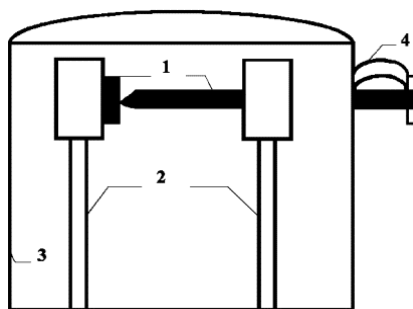
Рисунок 2 – Химические свойства фуллера

Химические свойства фуллера показаны на рисунке 2. Фуллерен гидрируется до  $C_{60}H_{36}$  (реакция 1), галогенируется подобно олефинам (реакции 2, 3). Продукты галогенирования легко вступают в реакции нуклеофильного замещения (реакция 4). При окислении кислородом (при УФ-облучении) образуется оксид фуллера (реакция 5). Фуллерен арилируется в присутствии  $AlCl_3$  (реакция 6). Рассмотренное выше присоединение оксида осмия является, по существу, окислением, которое проходит по раскрывающейся двойной связи (реакция 7). Так же с раскрытием двойных связей фуллера присоединяются амины (реакция 8), аминокислоты (реакция 9) и цианиды (реакция 10). Фуллерен, содержащий несколько аминогрупп, водорастворим [3].

### Получение фуллеренов

Наиболее эффективный способ получения фуллеренов основан на термическом разложении графита. Используется как электролитический нагрев графитового электрода, так и лазерное облучение поверхности графита. На рисунке 3 показана схема установки для получения фуллеренов. Распыление графита осуществляется при пропускании через электроды тока с частотой 60 Гц, величина тока 100 - 200 А, напряжение 10-20 В. Под давлением 1300 Па камера заполняется гелием, атомы которого наиболее эффективно по сравнению с другими атомами «тушат» колебательные движения возбужденных углеродных фрагментов, препятствующих их

объединению в стабильные структуры. При этом поверхность медного кожуха, охлаждаемого водой, покрывается продуктом испарения графита, т.е. графитовой сажой. Получаемый порошок соскабливают и выдерживают в течение нескольких часов в кипящем толуоле. При выпаривании полученной темно-бурой жидкости во вращающемся испарителе получается мелкодисперсный порошок, вес его составляет не более 10% от веса исходной графитовой сажи, в нем содержится до 10% фуллеренов  $C_{60}$  (90%) и  $C_{70}$  (10%). Описанный дуговой метод получения фуллеренов получил название «фуллереновая дуга». [4]



1 – графитовые электроды, 2 – охлаждаемая медная шина, 3 – медный кожух, 4 – пружины

Рисунок 3 – Схема установки для получения фуллеренов

### Методы обогащения

Наиболее удобный метод экстракции фуллеренов из продуктов термического разложения графита, а также последующей сепарации и очистки фуллеренов, основан на использовании растворителей и сорбентов.

Этот метод включает в себя несколько стадий. На первой стадии фуллерен-содержащая сажа обрабатывается с помощью бензола, толуола и других веществ. При этом фуллерены отделяются от нерастворимой фракции, содержание которой в фуллерен-содержащей фазе составляет обычно 70-80 %. Выпаривание полученного таким образом раствора фуллеренов приводит к образованию черного поликристаллического порошка, представляющего собой смесь фуллеренов различного сорта. Экстракт фуллеренов на 80 - 90 % состоит из  $C_{60}$  и на 10 -15% из  $C_{70}$ . Кроме того, имеется небольшое количество высших фуллеренов, выделение которых из экстракта представляет довольно сложную техническую задачу. Экстракт фуллеренов, растворенный в одном из растворителей, пропускается через сорбент, в качестве которого может быть использован алюминий, активированный уголь либо оксиды ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ) с высокими сорбционными характеристиками. Фуллерены собираются этим металлом, а затем экстрагируются из него с помощью чистого растворителя. Растворитель, пропущенный через сорбент с сорбированным в нем фуллереном, экстрагирует из сорбента поочередно фуллерены различного сорта, которые тем самым могут быть легко отделены друг от друга.[5]

## Применение фуллеренов

Основные направления применения фуллеренов:

1. Создание новых конструкционных материалов с уникальными свойствами для использования в строительстве инженерно-технических сооружений и в изготовлении средств индивидуальной защиты:

– Тканые материалы специального назначения (ленты, полотна, паруса, канаты, сверхпрочные нити) на основе полимерных молекул, модифицированных фуллеренами;

– Радиозащитные материалы на основе графитов, модифицированных фуллеренами;

– Бетонополимеры повышенной прочности;

– Сверхпрочные (выше твердости алмаза) насадки специального инструмента.

2. Улучшение эксплуатационных характеристик транспортных средств и других специальных механизмов:

– Присадки к маслам и смазкам, резко повышающие износоустойчивость пар трения в машинах и механизмах;

– Композиты тормозных колодок скоростных транспортных средств наземного и авиационного транспорта с повышенными теплоотдачей и износоустойчивостью;

– Материалы для снижения износа в условиях сухого трения.

3. Получение новых композиционных материалов:

– Термомодифицированные материалы электродов для химических источников тока;

– Элементы сверхпроводящих конструкций на основе фуллереновых интеркалятов.

– Материалы для стелс-технологий различного назначения;

– Материалы устройств для корреляции лазерного изображения в системах наблюдения и обработки спутниковой информации (высокоразрешающие динамические голограммы);

– Повышение механической прочности композиционных магнитов.[6]

4. Создание материалов и микроэлектронных изделий специального назначения:

– Материалы дифракционных ветвителей в волоконно-оптических сетях;

– Алмазоподобные пленки высокого совершенства;

– Материалы новейших микросенсоров;

– Тонкопленочные защитные покрытия высокой стойкости.

5. Разработка новых технологий в медицине:

– Материалы эффективного диализа применительно к сильнодействующим ядовитым веществам в полевых условиях;

– Высокоэффективные сорбенты для стационарных защитных систем.

Применение фуллеренов сдерживается их высокой стоимостью, которая складывается из трудоемкости получения фуллереновой смеси и



выделения из нее отдельных компонентов.[7]

#### Библиографический список

1. Википедия: [Электронный ресурс]: Свободная энциклопедия. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org> – 27.03.2011.
2. Витязь П.А. Синтез и применение сверхтвердых материалов / П.А. Витязь, В.Д. Грицук, В.Т. Синють. - Мн.: Бел. наука, 2005. – 359 с.
3. Мир химии: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://chemworld.narod.ru>.
4. Дигонский С.В. Неизвестный водород / С.В. Дигонский, В.В. Тен. – СПб.: Наука, 2006. – 292 с.
5. Изучение физических свойств фуллеренов и фуллеренно-содержащих саж: [Электронный ресурс]: Методические указания. – Красноярск.: 1999. – Режим доступа: <http://www.sibsauktf.ru/courses/fulleren>.
6. Попова О.И. Использование фуллеренов для повышения механической прочности композиционных магнитов / О.И. Попова, В.А. Глебов, А.В. Глебов // Цветные металлы. – 2010. - № 12. – С.60 - 63
7. NeoTechProduct: [Электронный ресурс]: Научно-производственная компания – Режим доступа: <http://www.neotechproduct.ru>.

УДК 546.261

### **ТЕРМОДИНАМИКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ ХРОМ–УГЛЕРОД–ВОДОРОД–АЗОТ–КИСЛОРОД, ХЛОР**

**Ширяева Л.С.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Руднева В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Плазмометаллургические струйные процессы получения карбидов как объекты термодинамического моделирования по сравнению с традиционными имеют ряд особенностей:

- быстротечность процессов карбидообразования;
- высокотемпературные условия протекания процессов карбидообразования, что создает предпосылки для достаточно быстрого достижения равновесия;
- возможность достижения высокого выхода карбидов только в условиях, обеспечивающих газофазный характер реакций карбидообразования;
- получение карбидов в системах, состоящих из нескольких химических элементов, образующих многофазные многокомпонентные смеси, обуславливает необходимость выполнения их термодинамического анализа на ЭВМ;

– изменение условий существования конденсированных фаз вследствие образования их в виде частиц наноразмерного уровня, т.е. с большой кривизной поверхности, для которых парциальное давление над конденсированной фазой превышает давление насыщения над плоской поверхностью, однако в настоящее время отсутствует единое мнение о размерном пороге (~ 1 или 2-10 нм) и соответствующие справочные данные;

– безусловная целесообразность выполнения термодинамических расчетов равновесных составов карбидообразующих систем при различных параметрах в связи с недостаточностью информации для описания с необходимой точностью и достоверностью кинетики и механизма процессов карбидообразования.

С учетом отмеченных особенностей результаты термодинамического анализа процессов карбидообразования следует рассматривать с одной стороны как прогнозные, требующие экспериментального подтверждения, а с другой – как технологические ориентиры и показатели совершенства реактора и уровня организации в нем процессов тепло- и массообмена.

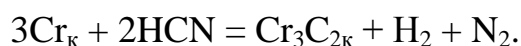
Термодинамический анализ процессов синтеза и модифицирования проведен с целью прогнозирования оптимальных параметров получения карбида хрома (соотношения компонентов и температуры), определения равновесных показателей процесса (степени превращения сырья в карбид, составов газообразных и конденсированных продуктов), оценки вклада в процессы карбидообразования газофазных реакций, обеспечивающих в условиях плазмометаллургических технологий эффективную переработку дисперсного сырья.

В связи с использованием в процессах синтеза в качестве хромсодержащего сырья – хрома, оксида  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и трихлорида  $\text{CrCl}_3$ , углеводородного сырья – метана и плазмообразующего газа – азота объектами исследования являлись системы  $\text{C} - \text{H} - \text{N}$ ,  $\text{Cr} - \text{O} - \text{C} - \text{H} - \text{N}$ ,  $\text{Cr} - \text{Cl} - \text{C} - \text{H} - \text{N}$ ,  $\text{Cr} - \text{C} - \text{H} - \text{N}$ . Расчеты выполнялись «константным» методом с использованием программы компьютерного моделирования высокотемпературных сложных химических равновесий «PLASMA» (ИХТТМ СО РАН), имеющей встроенную базу данных продуктов взаимодействия для оксидо-, боридо-, карбидо- и нитридообразующих систем. При расчетах рассматривалась область температур 1000-6000 К при общем давлении в системе 0,1 МПа. Исходными данными служили константы равновесия реакций образования соединений из элементов. Выбор в исследуемых системах соотношений исходных компонентов определялся стехиометрией реакций образования целевых продуктов и параметрами технологического оборудования.

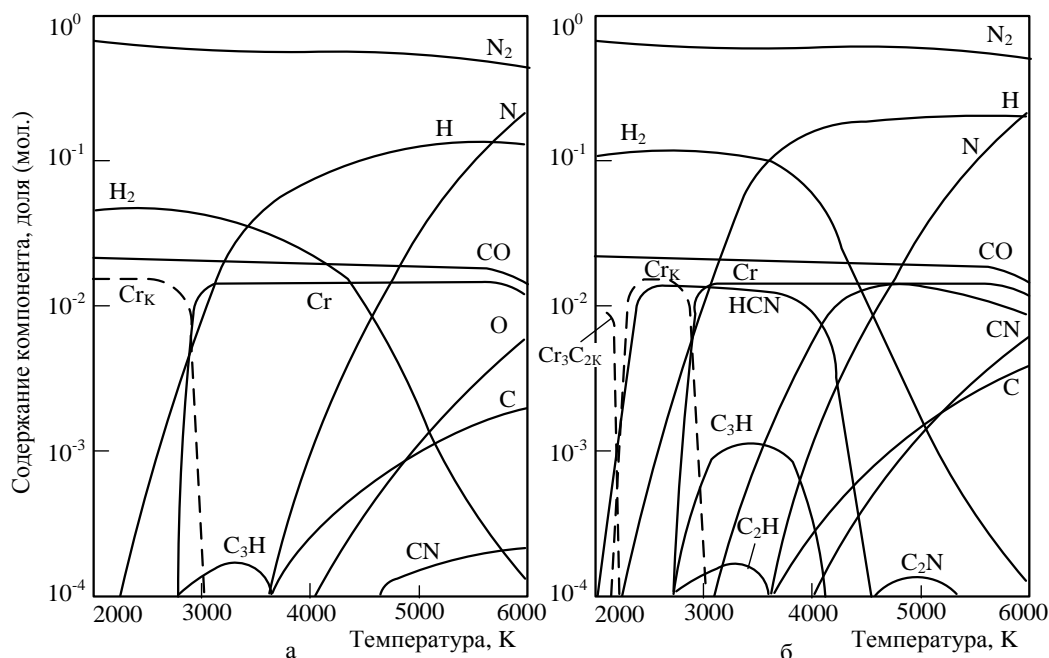
В системе  $\text{C} - \text{H} - \text{N}$  в области температур 2800-3800 К основными углеродсодержащими компонентами газовой фазы являются  $\text{HCN}$ ,  $\text{C}_3\text{H}$ ,  $\text{C}_2\text{H}$ . Присутствующий в системе углерод перераспределяется следующим образом:  $\text{HCN}$  – 98 % масс., углеводородные радикалы – 2 % масс. Концентрация углеводородных радикалов растет с увеличением содержания

в системе водорода. В равновесных условиях конденсация углерода из газовой фазы термодинамически возможна при температуре ниже 2800 К. Квазиравновесные составы системы С – Н – N характеризуются значительным расширением температурной области устойчивости циановодорода, составляющей 2000 – 2800 К.

В системе Cr–O– C– H–N при соотношении Cr:O:C = 0,25:0,375:0,375 продуктом восстановления является хром. Получение хрома возможно в области температур ниже 2800 К при конденсации пара. Карбид хрома Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> может быть получен при соотношении Cr:O:C = 0,25:0,375:0,54 в области температур 2000-2200. В условиях квазиравновесия термодинамически возможным представляется образование его по реакции

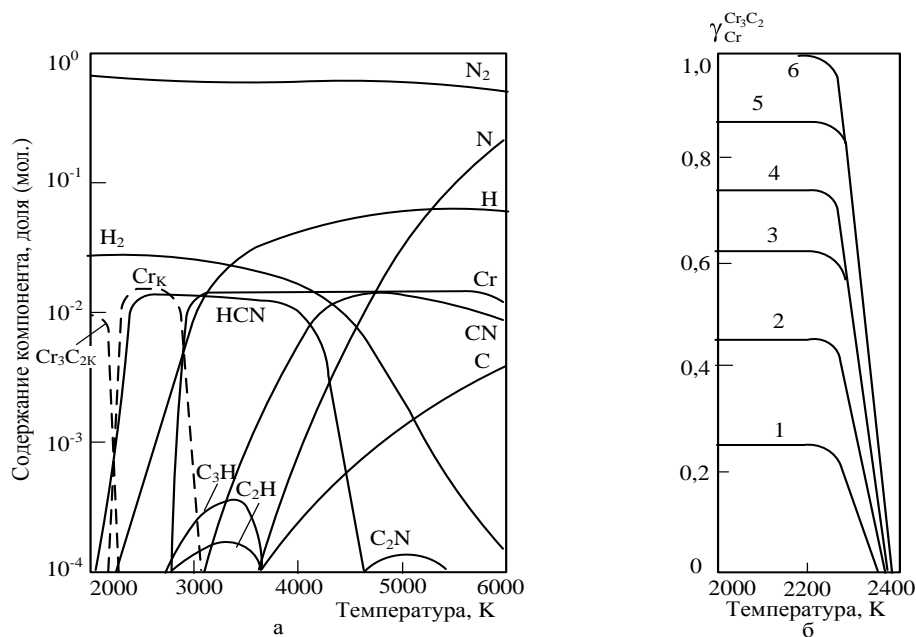


В системе Cr– C – H – N образование карбида хрома Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> может происходить с участием циановодорода в области температур 2000-2200 К. 100 % превращение хрома в карбид Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> достигается при стехиометрическом соотношении компонентов. В системе Cr – C – Cl – H – N карбид хрома Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> образуется при стехиометрическом соотношении Cr:C = 0,25:0,16, 3-х кратном избытке водорода в области температур 2000-2200 К по реакции с участием циановодорода. Результаты термодинамических расчётов систем Cr–O– C– H–N, Cr– C – H – N и Cr – C – Cl – H – N приведены на рисунках 1,2 и 3 соответственно.



- а) равновесные составы газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры при соотношении Cr:O:C:H:N=0,25:0,375: 0,375:1,5:20
- б) квазиравновесные составы газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры при соотношении Cr:O:C:H:N=0,25:0,375: 0,54:2,16:20

Рисунок 1 – Результаты термодинамических расчётов системы Cr:O:C:H:N



- а) квазиравновесные составы газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры при соотношении  $\text{Cr}:\text{C}:\text{H}:\text{N}=0,25:0,16: 0,64:20$   
 б) зависимость степени превращения  $\text{Cr}$  в  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  от соотношения  $\text{Cr}:\text{C}=0,25:0,042$  (1);  $0,25:0,082$  (2);  $0,25:0,116$  (3);  $0,25:0,125$  (4);  $0,25: 0,145$  (5);  $0,25:0,16$  (6)

Рисунок 2 – Результаты термодинамических расчётов системы  $\text{Cr}:\text{C}:\text{H}:\text{N}$

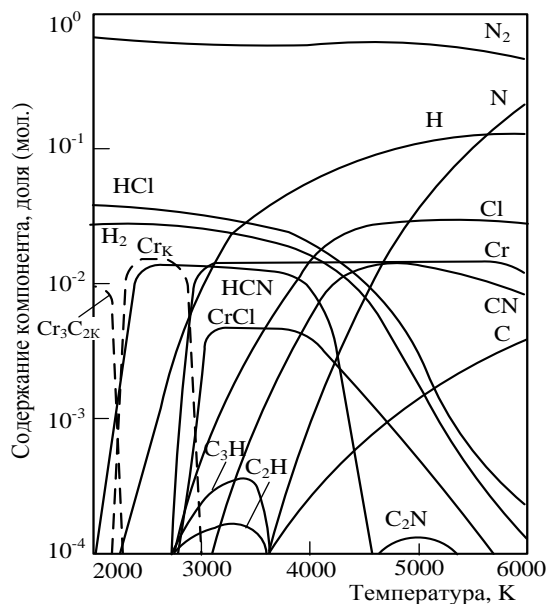


Рисунок 3 – Квазиравновесные составы газовой и конденсированной фаз системы  $\text{Cr}-\text{C}-\text{Cl}-\text{H}-\text{N}$  при соотношении компонентов  $\text{Cr}:\text{C}:\text{Cl}:\text{H}:\text{N}=0,25:0,16:0,75:2,0:20$

Таким образом, в исследуемых карбидообразующих системах образование карбида хрома происходит с участием циановодорода по

предполагаемому механизму «пар – расплав – кристалл», что позволяет предположить возможность достижения его высокого выхода в реальных условиях плазмометаллургической технологии.

УДК 544.971:669.046.58

## **ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЫ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВАХ**

**Михайлова Ю.М.**

**Научный руководитель: к.т.н., профессор Рыбалкин Е.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время отсутствует общепринятая точка зрения о зонах, в которых протекают реакции окисления примесей.

Качество материала в значительной степени определяется скоростью перехода через границу фаз. Степень удаления вредных примесей будет определяться не только кинетическим (константа скорости  $k$  и поверхности раздела фаз  $S$ ), но и термодинамическими характеристиками процесса (константой равновесия, температурой). Поэтому наряду с опытным определением кинетических констант процессов десульфурации и дефосфорации, нами произведен анализ термодинамических величин этих реакций, оценены показатели распределения серы и фосфора, марганца и кремния по ходу продувки. Отсутствие надежных термодинамических данных, особенно для шлаковой фазы, предопределило использование относительного метода расчета.

В соответствии с установившимися представлениями [1] в данной работе принята двухстадийная последовательная схема окисления примесей.

Удаление серы из металла – одно из главных условий производства качественной и высококачественной стали. Такая сталь содержит не более 0,02% серы. В шихтовых материалах количество серы обычно превышает допустимое в готовой стали. Появляется необходимость удаления серы из металла в шлаковую и газовую фазы.

Согласно схеме, принятой нами, реакция десульфурации в кислородном конвертере возможна как в зоне продувки (прямое окисление серы на поверхности металл-струя кислорода [2] и шлак-струя кислорода [3], так и на поверхности металл-шлак [4].

По данным различных исследователей [5] в промышленных условиях при обычном кислородно-конвертерном процессе в газовую фазу переходит от 5 до 35% от общего количества удаляемой за плавку серы, что может быть объяснено протеканием реакции.



По нашему мнению большая доля серы удаляется на границе металл-шлак. По аналогии с реакцией выгорания углерода из стали последним и важнейшим этапом реакции (1) является непосредственное взаимодействие кислорода и серы, растворенных в стали:



Эта реакция протекает необратимо, так как кислород непрерывно вводится в зону реакции.

Сущность различных способов обессеривания заключается в связывании серы, содержащейся в металле, в сульфидах  $MnS$ ,  $CaS$ ,  $MgS$ ,  $Na_2S$ , малая растворимость которых в металле обеспечивает переход серы в шлак. Формы существования серы в шлаке и металле точно не установлены. В жидких железоуглеродистых сплавах сера находится, по-видимому, в квазимолекулярных микрогруппировках  $Fe_n - S$  [6] со связью сложного типа. Допускают, что состояние серы в шлаке аналогично состоянию кислорода, и сера находится в нем в виде иона  $S^{2-}$ .

Полнота десульфурации ограничена условиями равновесия и при заданном составе металла зависит от температуры и состава шлака. В реальных условиях распределение серы между металлом и шлаком обычно не достигает равновесия, хотя зачастую и приближается к нему. Процесс десульфурации может быть представлен реакцией распределения серы и кислорода между металлом и шлаком, которая в иной форме эквивалентна реакции растворения  $(FeO)$  и  $(FeS)$  в жидком железе. Для успешной десульфурации металла необходимы восстановительные условия – малое содержание оксидов железа в шлаке, присутствие в металле элементов восстановителей с большим химическим сродством к кислороду (углерода, кремния, марганца и т.д.)

Удаление серы в шлак можно описать суммарной реакцией [7]



Ей соответствует закон действующих масс (через активности компонентов):

$$k = \frac{\alpha(S^{2-}) \cdot \alpha [O]}{\alpha [S] \cdot \alpha (O^{2-})} \frac{L_s}{L_o}, \quad (4)$$

где,  $L_s$  и  $L_o$  – константы распределения серы и кислорода. Распишем уравнение в виде:

$$k = \frac{\gamma_{s^{2-}} \cdot N_{s^{2-}} \cdot f_o}{\gamma_{o^{2-}} \cdot N_{o^{2-}} \cdot f} \quad (5) \quad \text{откуда} \quad \frac{(S)}{(O)} = L_s = \frac{A \cdot k \cdot \gamma_{o^{2-}} \cdot N_{o^{2-}} \cdot f_o}{\gamma_{s^{2-}} \cdot f} \quad (6)$$

$A$  – коэффициент пересчета ионной доли серы в шлаке ( $N_{s^{2-}}$ ) на массовый процент. Вычисления абсолютной величины ( $L_s$ ) встречают

определенные трудности, связанные главным образом с неопределенностью  $\gamma_{O^{2-}}, N_{S^{2-}}, \gamma_{S^{2-}}$  для промышленных плавов.

Температурная зависимость константы равновесия [8]:

$$\lg K = -\frac{9225}{T} + 3,01, \quad (7)$$

Таблица 1 – Химические составы металла и шлака на повалке промышленного конвертера в ККЦ-2 ЗСМК

| №<br>п/п | Состав металла, % |      |       |       | Состав шлака на повалке, % |                  |     |      |      |      | Температура<br>металла, °С |
|----------|-------------------|------|-------|-------|----------------------------|------------------|-----|------|------|------|----------------------------|
|          | C                 | Mn   | P     | S     | CaO                        | SiO <sub>2</sub> | MgO | FeO  | S    | MnO  |                            |
| 1        | 0,09              | 0,11 | 0,007 | 0,017 | 54,2                       | 15,3             | 3,0 | 18,4 | 0,19 | 3,9  | 1625                       |
| 2        | 0,18              | 0,11 | 0,006 | 0,018 | 54,3                       | 15,0             | 2,1 | 21,0 | 0,19 | 3,1  | 1610                       |
| 3        | 0,14              | 0,15 | 0,007 | 0,017 | 54,3                       | 15,7             | 1,9 | 18,3 | 0,19 | 4,2  | 1605                       |
| 4        | 0,06              | 0,06 | 0,003 | 0,015 | 49,2                       | 13,4             | 1,9 | 21,6 | 0,17 | 4,2  | 1595                       |
| 5        | 0,09              | 0,09 | 0,006 | 0,021 | 53,7                       | 16,1             | 2,2 | 22,1 | 0,19 | 3,0  | 1595                       |
| 6        | 0,07              | 0,06 | 0,005 | 0,013 | 50,3                       | 13,6             | 3,2 | 21,3 | 0,19 | 4,1  | 1640                       |
| 7        | 0,12              | 0,09 | 0,006 | 0,014 | 48,9                       | 14,7             | 3,1 | 20,4 | 0,17 | 4,5  | 1620                       |
| 8        | 0,09              | 0,13 | 0,009 | 0,019 | 47,8                       | 15,6             | 2,2 | 18,3 | 0,16 | 5,4  | 1610                       |
| 9        | 0,08              | 0,12 | 0,010 | 0,013 | 50,1                       | 16,1             | 2,1 | 18,4 | 0,18 | 5,1  | 1620                       |
| 10       | 0,04              | 0,06 | 0,008 | 0,018 | 48,0                       | 12,4             | 2,0 | 20,6 | 0,17 | 3,8  | 1630                       |
| 11       | 0,20              | 0,13 | 0,005 | 0,018 | 57,4                       | 17,4             | 1,2 | 13,0 | 0,20 | 3,9  | 1610                       |
| 12       | 0,19              | 0,14 | 0,006 | 0,02  | 57,0                       | 16,4             | 1,6 | 13,7 | 0,20 | 4,3  | 1640                       |
| 13       | 0,41              | 0,18 | 0,014 | 0,019 | 51,9                       | 18,9             | 2,8 | 12,2 | 0,19 | 5,0  | 1675                       |
| 14       | 0,08              | 0,07 | 0,005 | 0,010 | 55,2                       | 16,6             | 3,2 | 13,0 | 0,19 | 4,7  | 1630                       |
| 15       | 0,12              | 0,09 | 0,003 | 0,016 | 48,4                       | 16,1             | 1,5 | 20,6 | 0,17 | 5,4  | 1550                       |
| 16       | 0,11              | 0,11 | 0,008 | 0,015 | 56,1                       | 15,6             | 2,0 | 17,1 | 0,19 | 3,6  | 1650                       |
| 17       | 0,07              | 0,07 | 0,04  | 0,02  | 54,9                       | 15,5             | 2,2 | 16,7 | 0,19 | 4,2  | 1600                       |
| 18       | 0,10              | 0,08 | 0,006 | 0,014 | 55,0                       | 15,0             | 4,2 | 18,9 | 0,19 | 3,2  | 1650                       |
| 19       | 0,14              | 0,12 | 0,010 | 0,014 | 55,2                       | 12,4             | 3,2 | 17,5 | 0,19 | 3,8  | 1615                       |
| 20       | 0,11              | 0,27 | 0,011 | 0,013 | 56,5                       | 17,1             | 1,8 | 14,0 | 0,19 | 4,1  | 1585                       |
| 21       | 0,09              | 0,05 | 0,003 | 0,010 | 55,0                       | 15,0             | 2,2 | 12,4 | 0,19 | 4,2  | 1600                       |
| 22       | 0,13              | 0,13 | 0,010 | 0,017 | 49,9                       | 16,2             | 2,4 | 13,0 | 0,18 | 4,8  | 1590                       |
| 23       | 0,92              | 0,26 | 0,016 | 0,021 | 50,6                       | 14,7             | 2,8 | 13,9 | 0,18 | 5,11 | 1520                       |

В литературе приводится большое число уравнений, описывающих влияние состава шлака на равновесный коэффициент распределение серы  $L'_S$ . По данным о химическом составе металла и шлака промышленных плавов в ККЦ-2 ЗСМК, приведенным в таблице 1, нами был рассчитан равновесный ( $L'_S$ ) и найден фактический ( $L_S$ ) коэффициенты распределения серы. Результаты расчетов в сравнении с опытными данными приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Опытные равновесные концентрации серы и рассчитанные по методике Пономаренко А.Г. [9]

| № п/п | $L_s$ факт. | Равновесный коэффициент распределения S, $L'_s$ |                |           | № п/п | $L_s$ факт. | Равновесный коэффициент распределения S, $L'_s$ |                |           |
|-------|-------------|---|----------------|-----------|-------|-------------|---|----------------|-----------|
|       |             | опыт.   | по Пономаренко | [S]*опыт. |       |             | опыт.   | по Пономаренко | [S]*опыт. |
| 1     | 11,17       | 7,0   | 13,57          | 0,014     | 13    | 10,0        | 7,0   | 32,75          | 0,0058    |
| 2     | 10,56       | 6,0   | 21,11          | 0,009     | 14    | 19,0        | 7,5   | 13,01          | 0,0146    |
| 3     | 11,17       | 7,5   | 17,27          | 0,011     | 15    | 10,6        | 4,5   | 10,43          | 0,0163    |
| 4     | 11,33       | 6,0   | 7,39           | 0,023     | 16    | 12,67       | 7,5   | 19,0           | 0,010     |
| 5     | 9,05        | 5,5   | 11,18          | 0,017     | 17    | 9,5         | 7,0   | 9,5            | 0,020     |
| 6     | 14,6        | 6,0   | 11,66          | 0,0163    | 18    | 13,57       | 7,0   | 17,27          | 0,011     |
| 7     | 12,14       | 6,0   | 16,34          | 0,0104    | 19    | 13,57       | 8,0   | 17,27          | 0,011     |
| 8     | 8,42        | 6,0   | 11,85          | 0,0135    | 20    | 14,62       | 7,5   | 12,67          | 0,015     |
| 9     | 13,85       | 5,0   | 11,92          | 0,0151    | 21    | 19,0        | 9,0   | 11,18          | 0,017     |
| 10    | 9,44        | 7,0   | 6,25           | 0,0272    | 22    | 10,59       | 7,5   | 14,52          | 0,0124    |
| 11    | 11,11       | 7,5   | 24,0           | 0,0083    | 23    | 8,57        | 7,5   | 4,0            | 0,0045    |
| 12    | 10,0        | 7,5   | 27,8           | 0,0072    |       |             |   |                |           |

Сравнение  $L_s$  и  $L'_s$  <sup>опыт</sup> показало, что  $L_s$  превышает  $L'_s$  <sup>опыт</sup>, что не должно иметь место. Величины  $L'_s$ , рассчитанные с использованием методики Пономаренко А.Г. [7], в 16-ти случаях из 23 превышают значения  $L_s$ , либо близки к ним.

Рассчитать активность серы в шлаке по теории регулярных ионных растворов можно, используя методику, предложенную Сабирязовым Т.Г. [8]. В этом случае значение  $L'_s$  также близки к фактическим. Но поскольку при определении равновесной концентрации серы результаты, близкие к данным промышленных плавок, получены с использованием методики Пономаренко А.Г., то в дальнейшем для единообразия в расчетах представляли шлак как фазу с единой электронной системой.

#### Библиографический список

1. Минаев Ю.А., Григорян В.А. Кинетика и механизм окисления серы металла газообразным кислородом // Физико-химические основы производства стали. – М.: Наука, 1968.-с. 111-115;
2. Жигулин В.И., Рубинский П.С. Технологические основы производства кислородно-конвертерной стали. // Физико-химические основы производства стали. – М.: Наука, 1968.-с. 131-137;
3. Галимов М.Д., Галкова Л.И., Бажанов П.Н. Кинетика окисления серы и закиси железа в ферритно-кальцевом расплаве системы CaO-FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(S) // Исследование окислительно-восстановительных процессов в оксидно-сульфидных и металлических системах. – Свердловск, 1980.-с. 140-142;



4. Афанасьев С.Г., Третьяков С.В., Шумов М.М. и др. Некоторые особенности химизма окислительных реакций и шлакообразование в 100-тонном кислородном конвертере. // Физико-химические основы производства стали. – М.: Наука, 1968.-с. 141-146;

5. Филиппов С.И. Теория процесса безуглевания стали. – М.: Metallurgizdat, 1956 – с. 166;

6. Попель С.И., Сотников А.И. Теория металлургических процессов. – М.: Metallurgiya, 1986.-с. 463;

7. Пономаренко А.Г. Вопросы термодинамики фаз переменного состава имеющих коллективную электронную систему // 1974 - №7, – С. 1668-1674;

8. Сибирзянов Т.Г. К расчету равновесного распределения серы между металлом и шлаком // Изв. вузов. Черн. Metallurgiya – 1989. - №5. – С. 1-4.

УДК 544-971:669.046.58

## **АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ АКТИВНОСТЕЙ КОМПОНЕНТОВ МЕТАЛЛА И ШЛАКА ПЛАВОК, РАССЧИТАННЫХ ПО РАЗЛИЧНЫМ МЕТОДИКАМ**

**Воловик А.И.**

**Научный руководитель: к.т.н., профессор Рыбалкин Е.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Распределение элементов между металлической и шлаковой фазами определяется физико-химическими свойствами и температурой. Ниже для конкретной опытной серии промышленных плавок рассчитаны активности компонентов шлака и металла различными известными способами и полученные значения сопоставлены с экспериментальными.

В данной серии опытов кроме того, изменяли положение фурмы по ходу продувки.

При стандартной конструкции фурмы и определенном режиме присадок сыпучих материалов изменяли положение фурмы во время продувки ванны. Изменение  $h_f$  предусматривает небольшое изменение концентрации FeO в шлаке почти до конца продувки.

Для этой серии промышленных плавок, в которых изменяли положение фурмы по ходу продувки, были рассчитаны степени десульфурации и дефосфорации. Их значения вместе с составом металлической и шлаковой фаз, а также некоторые технологические показатели процесса приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Шихтовые материалы в опытной серии промышленных плавков

| №   | Степень десульфурации |                      | Масса, т |       | Выход годного | Основа ост шлака | Состав чугуна, % |      |       |      | Состав готовой стали, % |      |      |       |       |
|-----|-----------------------|----------------------|----------|-------|---------------|------------------|------------------|------|-------|------|-------------------------|------|------|-------|-------|
|     | Степень десульфурации | Степень дефосфорации | извести  | шпата |               |                  | %                | Si   | Mn    | S    | P                       | C    | Si   | Mn    | S     |
| п/п | %                     | %                    |          |       |               |                  |                  |      |       |      |                         |      |      |       |       |
| 1   | 57,5                  | 92,2                 | 22,6     | 0,35  | 92,05         | 2,6              | 0,60             | 0,45 | 0,041 | 0,18 | 0,34                    | 0,06 | 0,64 | 0,017 | 0,014 |
| 2   | 60,0                  | 90,0                 | 23,6     | 0,54  | 90,63         | 2,7              | 0,67             | 0,58 | 0,014 | 0,16 | 0,06                    | 0,07 | 0,58 | 0,016 | 0,016 |
| 3   | 42,5                  | 80,0                 | 19,3     | 0,47  | 87,63         | 2,9              | 0,62             | 0,31 | 0,030 | 0,10 | 0,09                    | 0,55 | 1,20 | 0,023 | 0,020 |
| 4   | 62,5                  | 87,2                 | 20,0     | 1,00  | 92,90         | 2,9              | 0,59             | 0,47 | 0,018 | 0,18 | 0,26                    | 0,26 | 0,62 | 0,015 | 0,023 |
| 5   | 42,5                  | 88,3                 | 21,0     | 1,20  | 88,92         | 3,0              | 0,57             | 0,48 | 0,017 | 0,18 | 0,19                    | 0,06 | 0,46 | 0,023 | 0,021 |
| 6   | 55,0                  | 84,7                 | 28,0     | 0,40  | 88,35         | 2,9              | 0,65             | 0,51 | 0,010 | 0,17 | 0,22                    | 0,06 | 0,57 | 0,018 | 0,026 |
| 7   | 65,0                  | 89,0                 | 19,0     | 0,40  | 93,75         | 3,2              | 0,74             | 0,51 | 0,011 | 0,20 | 0,22                    | 0,23 | 0,47 | 0,014 | 0,022 |
| 8   | 47,5                  | 89,5                 | 22,0     | 0,40  | 91,76         | 2,6              | 0,66             | 0,49 | 0,010 | 0,19 | 0,20                    | 0,06 | 0,54 | 0,021 | 0,020 |
| 9   | 62,5                  | 91,5                 | 20,5     | 0,20  | 97,44         | 3,3              | 0,65             | 0,50 | 0,014 | 0,16 | 0,18                    | 0,06 | 0,52 | 0,015 | 0,013 |
| 10  | 37,5                  | 86,4                 | 19,0     | 0,20  | 94,88         | 2,7              | 0,59             | 0,40 | 0,024 | 0,14 | 0,40                    | 0,24 | 0,64 | 0,025 | 0,019 |
| 11  | 57,5                  | 91,2                 | 22,0     | 0,20  | 91,19         | 3,2              | 0,60             | 0,46 | 0,014 | 0,18 | 0,19                    | 0,06 | 0,52 | 0,017 | 0,016 |
| 12  | 50,0                  | 85,6                 | 21,0     | 0,40  | 97,44         | 2,9              | 0,55             | 0,46 | 0,024 | 0,16 | 0,09                    | 0,76 | -    | 0,020 | 0,023 |
| 13  | 50,0                  | 88,2                 | 19,0     | 0,20  | 92,90         | 3,3              | 0,56             | 0,47 | 0,019 | 0,17 | 0,20                    | 0,07 | 0,56 | 0,020 | 0,020 |
| 14  | 35,00                 | 71,1                 | 16,0     | -     | 92,33         | 3,3              | 0,71             | 0,24 | 0,045 | 0,09 | 0,49                    | 0,25 | 0,61 | 0,026 | 0,026 |
| 15  | 55,0                  | 85,9                 | 17,0     | -     | 89,49         | 3,7              | 0,63             | 0,48 | 0,012 | 0,17 | 0,19                    | 0,06 | 0,54 | 0,018 | 0,024 |
| 16  | 70,0                  | 90,6                 | 20,0     | -     | 92,33         | 3,6              | 0,63             | 0,49 | 0,016 | 0,16 | 0,23                    | 0,26 | 0,53 | 0,012 | 0,016 |
| 17  | 32,5                  | 88,0                 | 18,0     | -     | 96,35         | -                | 0,53             | 0,51 | 0,013 | 0,15 | 0,19                    | 0,01 | 0,45 | 0,037 | 0,018 |
| 18  | 42,5                  | 86,2                 | 20,0     | -     | 92,61         | 2,0              | 0,66             | 0,52 | 0,020 | 0,21 | 0,35                    | 0,26 | 0,58 | 0,021 | 0,029 |
| 19  | 65,0                  | 92,6                 | 27,0     | 0,7   | 83,23         | 3,7              | 0,55             | 0,34 | 0,030 | 0,21 | 0,58                    | 0,21 | 0,16 | 0,014 | 0,016 |
| 20  | 37,5                  | 90,0                 | 20,0     | 0,2   | 91,19         | 3,2              | 0,45             | 0,34 | 0,007 | 0,23 | 0,18                    | 0,05 | 0,49 | 0,025 | 0,021 |
| 21  | 25,0                  | 87,6                 | 24,5     | -     | 92,17         | 3,1              | 0,58             | 0,34 | 0,030 | 0,21 | 0,24                    | 0,76 | 1,41 | 0,030 | 0,026 |

Средняя степень десульфурации для приведенной серии опытных плавков равна 52,4%, что значительно выше, чем для промышленных плавков, проведенных в подобных условиях, а степень дефосфорации 87,4% [Рис. 1].

Для данной серии промышленных плавков использовали те же модельные представления о строении шлакового расплава.

По способу, предложенному М.И. Темкиным, были рассчитаны активности компонентов шлака. Активность компонентов равна произведению ионных долей тех ионов, из которых состоит компонент ( $a_{FeO} = x_{Fe^{2+}} \cdot x_{O^{2-}}$ )

Ионные доли рассчитывали отдельно для катионной и анионной частей раствора [1]. Расчет активностей компонентов шлака по этой теории представлен в таблице 2.

Теория регулярных ионных растворов В.А. Кожеурова достаточно точно изложена в монографиях [2,3]. В соответствии с этой теорией при

расчете равновесных концентраций и активностей компонентов оксидного расплава вынуждены ограничиваться рассмотрением только шлаков, составленных из FeO, SiO<sub>2</sub>, CaO, MnO, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и рассчитывать энергии смешения. Реальные металлургические шлаки содержат соединения (CaS, CaF<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Это не позволяет считать теорию универсальной, хотя она признана металлургами.

Результаты расчетов по этой теории представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет активностей компонентов шлакового расплава по теории совершенного ионного раствора (теория М.И. Темкина)

| №<br>п/п | $\alpha_{FeO}$ | $\alpha_{CaO}$ | $\alpha_{MgO}$ | $\alpha_{SiO_2}$ | $\alpha_{P_2O_5}$ |
|----------|----------------|----------------|----------------|------------------|-------------------|
| 1        | 0,268          | 0,453          | 0,059          | 0,193            | 0,024             |
| 2        | 0,298          | 0,484          | 0,082          | 0,113            | 0,020             |
| 3        | 0,203          | 0,375          | 0,059          | 0,336            | 0,021             |
| 4        | 0,151          | 0,475          | 0,031          | 0,304            | 0,035             |
| 5        | 0,137          | 0,411          | 0,027          | 0,382            | 0,039             |
| 6        | 0,173          | 0,466          | 0,033          | 0,297            | 0,036             |
| 7        | 0,184          | 0,477          | 0,031          | 0,276            | 0,027             |
| 8        | 0,160          | 0,530          | 0,031          | 0,230            | 0,036             |
| 9        | 0,312          | 0,451          | 0,027          | 0,199            | 0,009             |
| 10       | 0,164          | 0,430          | 0,031          | 0,331            | 0,041             |
| 11       | 0,269          | 0,494          | 0,077          | 0,131            | 0,025             |
| 12       | 0,393          | 0,430          | 0,073          | 0,085            | 0,017             |
| 13       | 0,237          | 0,509          | 0,068          | 0,156            | 0,029             |
| 14       | 0,097          | 0,450          | 0,066          | 0,349            | 0,033             |
| 15       | 0,123          | 0,507          | 0,061          | 0,272            | 0,033             |
| 16       | 0,248          | 0,434          | 0,047          | 0,126            | 0,025             |
| 17       | 0,237          | 0,481          | 0,039          | 0,210            | 0,030             |

А.Г. Пономаренко, рассматривая шлак как фазу с коллективной электронной системой [4], предложил формулы для расчета равновесных концентраций элементов.

Недостатки теории, на наш взгляд, связаны по следующим:  
энтальпия разбавления вычисляется по уравнению

$$\Delta H' = \sum \omega_i C_i - \sum C_i \omega_i,$$

где  $\omega_i$  находится при помощи ЭВМ путем минимизации разности между расчетными и опытными значениями. Однако уравнения для расчетов  $\epsilon_{ij}$  и  $\Delta H'$  получены не на основании теоретических выкладок, а методом подбора, что нарушает логическую цепочку вывода конечных формул. Также к недостаткам следует отнести отсутствие зависимости

энергетического параметра компонента от его валентности и аналогичного подхода с выводом формул для металлической фазы [5,6].

Однако расчеты, выполненные по этой теории, дают удовлетворительные результаты и могут быть использованы для прогнозирования активностей компонентов в шлаках. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет активностей компонентов шлакового расплава по теории регулярных ионных растворов (теория В.А. Кожеурова)

|                                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| №<br>п/п                        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| $\alpha_{\text{FeO}}$           | 0,560 | 0,501 | 0,686 | 0,483 | 0,520 | 0,509 | 0,513 | 0,443 | 0,594 |
| $\alpha_{\text{MgO}}$           | 0,042 | 0,065 | 0,038 | 0,023 | 0,020 | 0,024 | 0,022 | 0,024 | 0,018 |
| $\alpha_{\text{P}_2\text{O}_5}$ | 0,316 | 0,165 | 0,504 | 0,110 | 0,261 | 0,956 | 0,906 | 0,515 | 0,418 |
| №<br>п/п                        | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    |       |
| $\alpha_{\text{FeO}}$           | 0,544 | 0,497 | 0,566 | 0,486 | 0,368 | 0,385 | 0,536 | 0,547 |       |
| $\alpha_{\text{MgO}}$           | 0,022 | 0,061 | 0,058 | 0,053 | 0,053 | 0,049 | 0,035 | 0,028 |       |
| $\alpha_{\text{P}_2\text{O}_5}$ | 0,368 | 0,191 | 0,438 | 0,153 | 0,124 | 0,712 | 0,161 | 0,203 |       |

Рассчитанные показатели активностей компонентов существенно отличаются друг от друга.

Наибольшие значения активностей получены по теории Пономаренко А.Г. Для FeO и CaO они примерно в полтора-два раза превышают значения, полученные по другим теориям и опытными данными. Активности отдельных компонентов не отличаются от экспериментальных и полученных по другим теориям. По теории Приходько Э.В. вычислены не значения активностей, а лишь показатели распределения серы и фосфора. Эти значения близки к таковым в конце продувки, что не удивительно, т.к. именно они были использованы для корректировки полученных величин. Обращают на себя внимание сравнительно малые значения активностей  $\text{P}_2\text{O}_5$ , рассчитанные по теории Кожеурова В.А. Они иногда на порядок ниже вычисленных по другим теориям, что затрудняет объяснение поведения фосфора в конверторном процессе.

Поэтому для расчета активностей компонентов такого расплава в условиях кислородно-конверторного производства применима методика Пономаренко А.Г. и может быть использована при математическом моделировании (таблица 4).

Процесс десульфурации и дефосфорации металла достаточно сложен в кинетическом и термодинамическом отношении. До сих пор нет единого мнения о том, в каком режиме кинетическом, диффузионном или смешанном протекает процесс, а также достоверных кинетических константах. Характерной особенностью его является малая скорость, вследствие чего

равновесие между металлом и шлаком устанавливается очень медленно и в промышленных условиях обычно не достигается. Концентрация серы в металле равновесная со шлаком в свою очередь, зависит от состава контактирующих фаз, т.е. от активности компонентов металла, шлака и температуры. По сравнению с десульфурацией процесс удаления фосфора относительно прост и его кинетика и термодинамика изучены достаточно полно, как показано на рисунке 1.

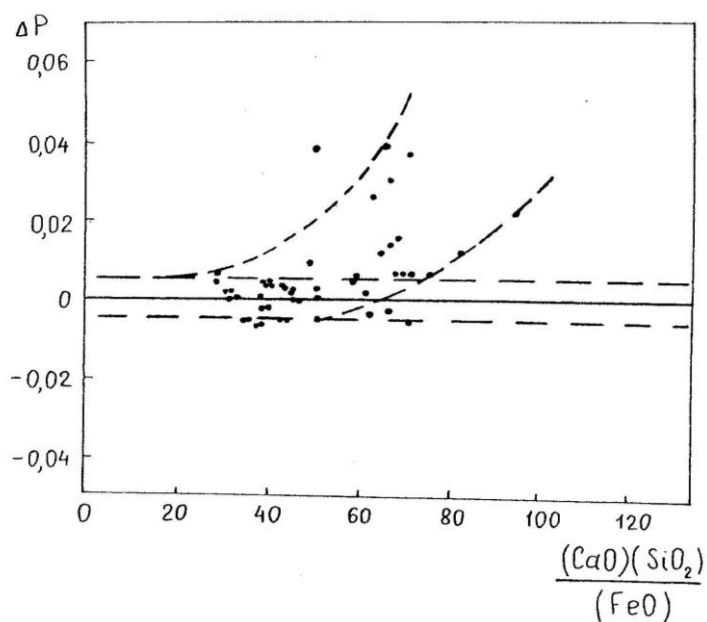


Рисунок 1 – Зависимость  $\Delta P$  от показателя  $(CaO)(SiO_2)/(FeO)$

$$\Delta P = [P]_{\text{равн}} - [P]_{\text{расч}}$$

Таблица 4 – Расчет активностей компонентов шлака как фазы, имеющей коллективную электронную систему (теория А.Г. Пономаренко)

| № п/п | $\alpha_{CaO}$ | $\alpha_{MgO}$ | $\alpha_{SiO_2}$ | $\alpha_{P_2O_5}$ | $\alpha_{FeO}$ | $\alpha_s$ |
|-------|----------------|----------------|------------------|-------------------|----------------|------------|
| 1     | 0,704          | 0,087          | 0,191            | 0,001             | 0,664          | 0,014      |
| 2     | 0,723          | 0,117          | 0,129            | 0,001             | 0,696          | 0,016      |
| 3     | 0,645          | 0,096          | 0,266            | 0,000             | 0,598          | 0,017      |
| 4     | 0,722          | 0,047          | 0,242            | 0,001             | 0,515          | 0,014      |
| 5     | 0,706          | 0,045          | 0,275            | 0,001             | 0,505          | 0,012      |
| 6     | 0,725          | 0,050          | 0,243            | 0,001             | 0,554          | 0,014      |
| 7     | 0,733          | 0,047          | 0,234            | 0,001             | 0,569          | 0,014      |
| 8     | 0,767          | 0,043          | 0,203            | 0,001             | 0,525          | 0,015      |
| 9     | 0,730          | 0,041          | 0,205            | 0,001             | 0,718          | 0,012      |
| 10    | 0,709          | 0,049          | 0,255            | 0,001             | 0,543          | 0,010      |

Продолжение таблицы 4

| №<br>п/п | $\alpha CaO$ | $\alpha MgO$ | $\alpha SiO_2$ | $\alpha P_2O_5$ | $\alpha FeO$ | $\alpha s$ |
|----------|--------------|--------------|----------------|-----------------|--------------|------------|
| 11       | 0,725        | 0,109        | 0,142          | 0,001           | 0,665        | 0,013      |
| 12       | 0,711        | 0,112        | 0,107          | 0,000           | 0,778        | 0,016      |
| 13       | 0,733        | 0,095        | 0,159          | 0,001           | 0,627        | 0,008      |
| 14       | 0,692        | 0,100        | 0,253          | 0,001           | 0,392        | 0,013      |
| 15       | 0,724        | 0,087        | 0,221          | 0,001           | 0,447        | 0,011      |
| 16       | 0,731        | 0,069        | 0,188          | 0,001           | 0,646        | 0,015      |
| 17       | 0,733        | 0,058        | 0,199          | 0,001           | 0,634        | 0,015      |

Библиографический список

1. Казачков Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов / Е.А. Казачков. – М.: Металлургия, 1988. – 288 с.
2. Есин О.А. Физическая химия пирометаллургических процессов / О.А. Есин, П.В. Гельд. – М. Свердловск: Металлургиздат, 1954. – 606 с.
3. Кожеуров В.Н. Термодинамика металлургических шлаков / В.Н. Кожеуров. Металлургиздат, 1955. – 166 с.
4. Пономаренко А.Г. Вопросы термодинамики фаз переменного состава, имеющих коллективную электронную систему / А.Г. Пономаренко // ЖФХ, – 1974. – №7. – С. 1668–1974, № 9. – С. 1950–1958.
5. Рыбалкин Е.М. Компьютерное моделирование сложных металлургических систем / Е.М. Рыбалкин, В.Н. Михайлец, И.Н. Толкунова // Всесоюзное совещание «Базы физико-химических данных для оптимизации металлургических технологий»: тез. докл. Днепропетровск, 1988. – С. 154–161.
6. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия / Н.Л. Жило. 1968. – №4. – С. 21–25.

УДК 55

**ВВЕДЕНИЕ В ГЕОЛОГИЮ**

**Мартусевич Е.А.**

**Научные руководители: к.т.н., профессор Шпайхер Е.Д.,  
к.т.н., доцент Ерилова Т.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

*Геология* – комплекс наук о Земле. Для количественной характеристики геологических процессов разработаны способы измерения

времени. Главные среди них – *литологические, биостратиграфические и радиологические* (изотопные) методы [1]. Возраст Земли принято представлять в виде эр, периодов, эпох. Стратиграфия и биостратиграфия различают сложные осадочные породы по возрасту и времени образования, по их данным составляют геологические карты, изучают макроструктуры. Петрография, как и минералогия, и геохимия изучает геологические микроструктуры, используя методики химии, рентгеноструктурный анализ, кристаллооптические измерения (по ним судят о группах симметрии кристаллов).

Представления о Земле изменялись на разных этапах развития естествознания. Пранаука выделяла три геологические идеи: о шарообразности Земли; об изменяемости лика Земли; о климатической зональности. К концу XVII века было установлено опытным путём, что форма Земли – не идеальная сфера, вычислена масса Земли. В XX веке с помощью приборов, установленных на искусственных спутниках, установлено, что форма Земли (в виде профилей геоида и эллипсоида) незначительно отличается от сфероида вращения.

Выделение этапов в истории развития естественных наук – дело условное. Чаще всего выделяют древний и средневековый этап, классический и современный. Ряд ученых выделяют как этап неклассические представления, а также эволюционные.

Н. Стено основал структурную геологию. М.В. Ломоносов сформулировал идею униформизма, определил решающую роль внутреннего тепла Земли, поднятия и опускания суши. Стремление объяснить массив геологических данных привело к появлению во второй половине XVIII столетия ряда учений: *нептунизм, плутонизм, катастрофизм, униформизм, эволюционизм, мобилизм, концепции сжатия и расширения Земли*. Фиксизм противопоставляется мобилизму. К началу XX века в геологии доминирующей стала концепция эволюционизма, стали говорить о деталях эволюции каждой геосферной оболочки в отдельности, так и взаимодействия геосферных оболочек Земли. Особое внимание привлекла литосфера. Концепция *мобилизма* опиралась на идею, что дно океанов и острова находятся не в фиксированном положении, а дрейфуют. В 50 – 60-х годах XX века идеи мобилизма подтвердились. Затем появились *неомобилизм, концепция тектоники литосферных плит*. К началу 70-х годов XX века возникла концепция *глобальной эволюции Земли*, которая опирается на методологию неклассической физики, химии, астрономии, биологии.

С позиций неклассической концепции глобальной геоэволюции в развитии Земли выделяют ряд этапов от образования планеты, нарастания, периода постоянства, угасания тектонической деятельности, остывания, опаления Земли в результате взрыва Солнца и космического странствия остатков планеты. Академик В.Е. Хаин предложил последовательность из 10 стадий (фаз) эволюции Земли от образования Земли из газа, пыли и планетезималей до современности.

В истории Земли как планеты неоднократно происходил процесс формирования и распада суперматерики Пангеи. На крупномасштабную периодичность 500 – 600 млн. лет накладывается периодичность меньших масштабов, связанная с растяжением и сжатием земной коры.

Каждая геосферная оболочка Земли (ядро, мантия, литосфера, гидросфера, атмосфера) проходит в своём эволюционном развитии моменты образования, роста, максимального расцвета, угасания и конца.

При формировании ядра Земли происходило как наращивание, так и сокращение массы. В наши дни масса ядра увеличивается, согласно расчетам, на 130 млрд. тонн в год. Остывание Земли приведет к полному затвердеванию, как мантии, так и ядра. Переход Солнца в состояние «белого карлика», будет сопровождаться гигантским выбросом излучения, которое «опалит» Землю. Из всех геосферных оболочек земное ядро имеет наибольшие шансы уцелеть, разогреться, затем вновь остыть и стать космическим путешественником, который либо под действием излучения будет медленно рассеиваться, либо поглотится иной звездой.

На ранних этапах своей эволюции (4,7 – 4 млрд. лет назад) Земля, еще не приобретя гидросферы, уже *обладала атмосферой*, но крайне разреженной. Она состояла главным образом из летучих соединений, которые распространены в космосе, т. е.  $H_2$ , He,  $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ , CO. Рождение плотной атмосферы связано с выделением тех летучих соединений, которые попали на Землю в связанном состоянии. Считается, что активная дегазация планеты началась 4 млрд. лет назад и через 1 млрд. лет плотная атмосфера состояла в основном из азота ( $N_2$ ) и углекислого газа ( $CO_2$ ) с давлением до 4 атм.

Последующая история атмосферы Земли связана с «заменой» углекислого газа на кислород. История жизни атмосферы прервется через 5 млрд. лет после взрыва Солнца, атмосфера будет испарена.

Состав атмосферы изменялся на протяжении эволюции Земли. Мощным поглотителем кислорода является свободное железо.

В эволюции Земли наиглавнейшим фактором является *энергия*, выделяемая при химико-плотностной дифференциации вещества в мантии и ядре Земли. Динамика Земли определяется в основном тремя составляющими: энергией гравитации (82 %); энергией радиоактивного распада (12 %); приливной энергией (4 %).

Формирование Земли сопровождалось дифференциацией вещества. Плотность вещества растет от поверхности к центру. Температура в глубине планеты выше, чем на поверхности. По сейсмическим данным судят о пространственных параметрах Земли, структурных компонентах, агрегатном состоянии. Геосферы (ядро, мантия, литосфера, земная кора, гидросфера, атмосфера, магнитосфера) взаимосвязаны.

Дегазация земных недр стала источником возникновения атмосферы и гидросферы. Состав первичной атмосферы Земли отличался от состава современной азотно-кислородной атмосферы. Химическая эволюция



атмосферы и гидросферы проходила с участием живых организмов, причем ведущую роль играли фотосинтезирующие растения.

*Гидросфера* – это *сплошная оболочка* Земли, круговорот воды в природе – *не замкнутый цикл, происходит замена*. Океаническая вода представляет собой уникальный природный раствор. Вода – вещество со многими уникальными физическими и химическими *свойствами*.

В атмосфере давление и плотность воздуха с высотой убывает, температура меняется, выделяют пять слоев: тропосфера, стратосфера, мезосфера, ионосфера, экзосфера.

Магнитосфера – область околоземного пространства, её физические свойства определяются взаимодействием магнитного поля Земли с потоками заряженных частиц космического происхождения. Земля обладает *гравитационным, магнитным и электрическими* полями. Установлено, что магнитное поле Земли не остается неизменным. Северный магнитный полюс дрейфует. Полярность магнитного поля менялась несколько раз.

Результат тектонической активности – глобальная *асимметрия полушарий Земли*. Верхняя твердая оболочка Земли называется *литосферой*. В неё входят твёрдая *кора* и вязкая часть *верхней мантии*. Деформируемость астеносферы допускает скольжение по ней литосферных плит. Согласно *тектонической теории*, литосфера Земли образована плитами мозаичной структуры. С помощью спутников доказано, что плиты перемещаются и определена скорость этого движения. Согласно *теории геологической эволюции Земли* перемещения в мантии и земной коре, не хаотичны, а закономерны.

Видоизменение земной коры и её поверхности происходит благодаря процессам, которые геологи подразделяют на эндогенные (внутренние) и экзогенные (внешние).

Сильному землетрясению соответствует магнитуда 9 по *сейсмической шкале Рихтера*. На поверхности Земли сила землетрясения оценивается по 12-балльной шкале. Каждая последующая цифра этой шкалы соответствует десятикратному увеличению количества энергии, высвобождаемой при землетрясении.

С середины 90-х годов XX века рассматриваются четыре экологические функции литосферы: *ресурсная, геодинамическая, геофизическая и геохимическая* [1].

Ландшафтный комплекс соотносят с поверхностью суши. Объектом рассмотрения географических наук является не только суша, но и океаны, и атмосфера, и биосфера, поэтому вместо понятия «ландшафт» используется «географический комплекс». Основы учения о ландшафтах и ландшафтных зонах создал А. Гумбольдт, далее развивал В.В. Докучаев. В 30-х годах XX века *концепцию географической оболочки* развивает А.А. Григорьев.

Саморегулирующиеся процессы в атмосфере Земли формируют климат планеты, образовались климатические зоны. Климат характеризуется *циклическостью*. Периоды разных ритмов накладываются друг на друга [2].

Для установления истинности различных современных геологических концепций ожидают данные бурения глубоких горизонтов океанической коры.

Данные, полученные в Антарктиде и Гренландии, позволяют судить о концентрации CO<sub>2</sub> и температуре воздуха в атмосфере в прошлом (650 тыс. лет назад). С помощью компьютеров и сложных климатических моделей даются прогнозы на многие годы вперед, рассчитываются отклонения от средней температуры воздуха, зарегистрированной в 1961–1990 годы. Анализируя построенные зависимости, следует отметить, что связь между изменениями концентрации CO<sub>2</sub> и температуры имеет сложный характер. Наблюдения показали, что за последние 30 лет, идет медленное похолодание [3].

Одно из последних географических открытий XX века – существование пресного озера в Антарктиде. Ожидается, что при исследовании состава атмосферы в пробах льда и озера, будут получены данные о прошлом климате Земли на протяжении последних 800 тыс. лет. Это, возможно, поможет понять проблему глобальных изменений в настоящем столетии [4].

#### Библиографический список

1. Канке В.А. Концепции современного естествознания [Текст] : учебник для вузов / А.В. Канке. – 2-е изд., испр. – М. : Логос, 2003. – 368 с.
2. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания [Текст] : учеб. пособие / Т.Я. Дубнищева. – 10-е изд. – М. : Академия, 2009. – 608 с.
3. Молдаванов Д. Глобальное потепление и озоновые дыры – наукообразные мифы. беседа с профессором А.П. Капицей [Электронный ресурс] // Вестник. – 1998. – № 21 (202) – Режим доступа: <http://www.vestnik.com/issues/98/1013/win/moldav.htm> .
4. Крупенин Н. Сто метров до вечности [Текст] / Н. Крупенин // Наука и жизнь. – 2010. – № 4. – С. 8 – 9.

## **II. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

УДК 622.236.22

### **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

**Корнеев П.А.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Пугачев Е.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время угольная промышленность переживает проблемный период своего развития. Этот период тесно связан с проблемами в сфере реформирования угольной отрасли, с ухудшением условий добычи угля ввиду перехода горных работ на большие глубины, а так же с мировым экономическим кризисом.

Подземная разработка является основным способом освоения угольных месторождений в Российской Федерации. Анализ современного состояния технологий и методик её осуществления, в совокупности с рассмотрением основных тенденций развития угольной отрасли, позволяет с уверенностью констатировать постоянное ужесточение условий ведения горных работ.

Основной задачей на ближайшую перспективу является обеспечение решения проблем горного производства, которые заключаются в реструктуризации горной отрасли России, главная цель которой состоит в организации эффективного конкурентоспособного производственного комплекса, который будет обеспечивать удовлетворение спроса при резком снижении затрат на добычу угля.

Увеличение глубины разработки месторождений полезных ископаемых влечёт за собой естественный рост исходного поля напряжений в недрах, возникновение геодинамических явлений типа горных ударов и внезапных выбросов горных пород и газа в выработки, обострение проблемы эффективного управления горным давлением.

Нетронутый массив горных пород в земной коре не подверженный техногенному воздействию, представляет собой уравновешенную систему сил в природно-естественном напряжённом состоянии. В процессе разработки свиты наблюдается взаимное влияние смежных угольных пластов. В результате наложения зон опорного давления, сформировавшихся в окрестности целиков и краевых частей, происходит увеличение компоненты сжимающих напряжений. Это часто приводит к повышению интенсивности необратимых деформаций, разрушения и выдавливания угля и пород около выработки.

На угольных шахтах горнотехническая обстановка определяется нерегулируемыми и регулируемыми факторами.

К нерегулируемым факторам относятся такие природные факторы как:

- геологическое строение;
- морфология;
- трещиноватость;
- физико-механические свойства;
- исходное поле напряжений и ряд других.

К регулируемым факторам относятся такие факторы, которыми можно варьировать и управлять при проведении горных работ:

- способ управления горным давлением;
- интенсивность ведения горных работ;
- порядок и направление выемки и прочие.

В источнике [1, С. 141] выделяется два основных аспекта разрушения горных пород:

- предсказание о начале процесса разрушения (наступление предельного состояния для данного дефектного тела в заданном поле напряжений);
- регулирование процесса разрушения горных пород.

Из первого аспекта следует прогнозирование критических условий, которые способствуют процессу разрушения горной породы обладающей определёнными физико-механическими свойствами в данном напряжённом состоянии, связанном с глубиной и различными технологическими параметрами добычи полезных ископаемых. Такое прогнозирование при полезном разрушении (в процессе добычи ископаемых или проведении горных выработок) помогает производить поиск рациональных способов разрушения и подсчитывать энергоёмкость; при вредном разрушении (поддержание выработок) – позволяет выбрать рациональный тип крепи горных выработок.

Из второго аспекта следует, что управление (регулирование) процессом разрушения состоит в искусственном изменении физико-механических характеристик горных пород, изменении величины и характера воздействующих полей напряжений.

Выше приведённые аспекты разрушения горных пород имеют место при использовании технологии проходки горных выработок с использованием энергии горного давления [2, С. 104] – в начале производят прогноз пород склонных к выдавливанию, а после его проведения производят механическое разрушение этих пород. После разрушения пород склонных к выдавливанию, происходит обрушение пород в поверхности забоя. Данная технология позволяет активно влиять на массив горных пород с целью его эффективного разрушения при использовании природных сил горного давления. Так же необходимо отметить, что данная технология позволит произвести значительную экономию электроэнергии, потребляемую проходческим комбайном.

Необходимо отметить, что в настоящее время уголь продолжает играть главную роль в обеспечении электрической энергией различных стран и в

ближайшие годы эта тенденция сохранится. Запасами угля обладают практически все страны мира. На базе угля как энергоносителя сейчас производится 40% всей мировой электроэнергии [3, С. 39].

Развитие горной промышленности в будущем предполагает разработку, применение и совершенствование добычных технологий, которые позволят обеспечить значительное улучшение технико-экономических показателей горных работ.

#### Библиографический список

1. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В. Предельное состояние горных пород. /Киев: «Наукова думка» 1982. – 197 с.
2. Корнеев П.А. Перспективы использования энергии горного давления при проведении горных выработок // Перспектива развития Прокопьевско-Киселёвского угольного района как составная часть комплексного инновационного плана моногородов: Сб. матер. международной научно-практической конф. – Прокопьевск, 2011 – с. 103 – 105.
3. Мышковский М., Пашедаг У. Разработка длинными очистными забоями угольных пластов средней мощности // Глюкауф 1(2) май 2010 – с. 39 – 40.

УДК 528.952

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

**Новоселов Д.Б., Новоселова В.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Кафедра геологии и геодезии Сибирского Государственного Индустриального Университета была создана одной из первых при открытии в 1948г. горного факультета. Кафедра ведет интенсивную издательскую и научную работу. Изданы учебные пособия по дисциплинам геологического и геодезического циклов. Ежегодно сотрудники кафедры принимают участие в международной выставке и научном конгрессе «Гео-Сибирь» в г.Новосибирске, а в своей работе используют последние достижения технического прогресса.

Сегодня повсеместно внедряются современные технологии автоматизации и визуализации геодезических данных. Появляются различные программные продукты и геодезические инструменты, которые позволяют значительно сократить время выполнения работ и создать цифровые карты. Цифровая карта является основой для изготовления бумажных и электронных карт, входит в состав картографических баз данных и служит важнейшим элементом информационного обеспечения ГИС.

При изучении студентами курса инженерной геодезии на

лабораторных занятиях с помощью проектора демонстрируются основные преимущества цифровых карт над бумажными. При этом основной проблемой является наглядно показать рельеф местности. Сложность состоит в том, что рельеф – пространственный объект, и мы его обычно рассматриваем в перспективе, тогда как изображаем ортогонально на плоскости. Для демонстрации рельефа местности преподавателями кафедры была создана Виртуальная Модель Местности (ВММ) в 3D.

Виртуальная модель местности – математическая модель местности, содержащая информацию о рельефе земной поверхности, ее спектральных яркостях и объектах, расположенных на данной территории, и предназначенная для интерактивной визуализации, и обладающая эффектом присутствия на местности [2]. Для создания и визуализации ВММ с достаточно высокой степенью реалистичности требуется применение программ, способных обрабатывать трехмерные объекты, «драпированные» («обтянутые») текстурой (растровые карты или космические снимки).

Для создания ВММ был выбран лист топографической карты масштаба 1:25 000 реальной местности Кемеровской области, где присутствуют все формы рельефа. Перепад высот от точки с минимальной высотой до максимальной составил около 1000м, много крупных и мелких рек. Выбранная карта была переведена в электронный вид и с помощью программного продукта Credo Трансформ 3.0 привязана к условной системе координат.

Создание цифровой модели рельефа (ЦМР) производилось в программе Credo Топоплан. ЦМР является одной из наиболее важных составляющих ВММ. Чем точнее и детальнее модель рельефа, тем более реалистична виртуальная модель местности.

Для визуализации и драпировки текстурой использовалась программа AutoCAD Civil 3D (рис. 1) - мощный инструмент для обработки и демонстрации 3D-поверхностей.

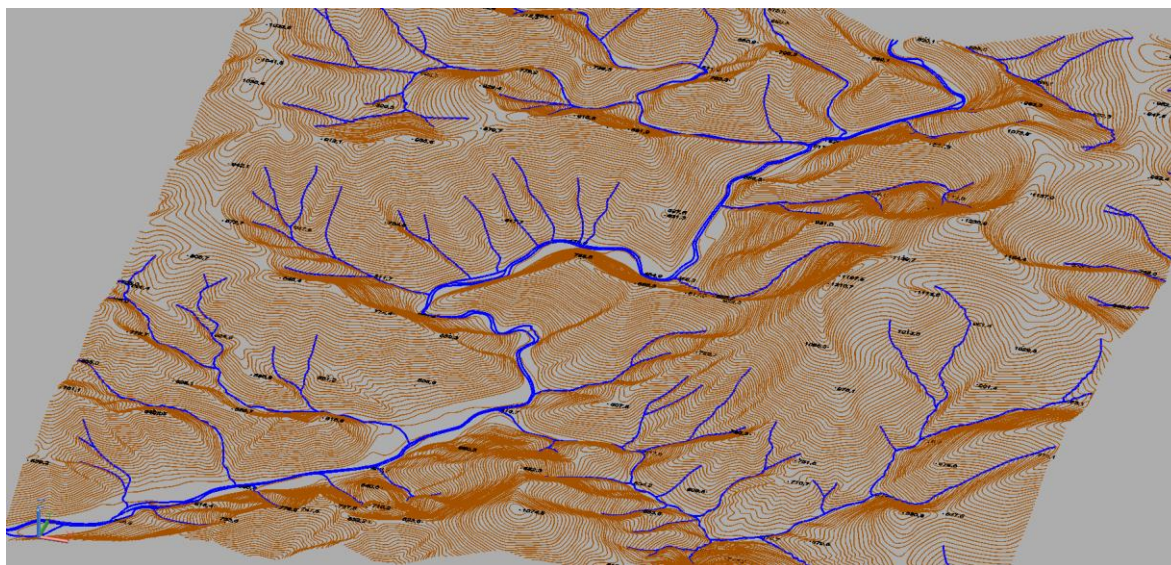


Рисунок 1 – Визуализация ЦМР в AutoCAD

Покрытие ЦМР растровыми изображениями помогает при ориентации на модели, что привносит в ВММ колоссальное количество новых сведений о местности и делает ее действительно реалистичной. Чаше ЦМР «драпируют» топографическими картами, так как стоимость карт ниже и их проще обрабатывать. Использование космоснимков – дорогое удовольствие, и их сложнее обрабатывать, но реалистичность модели, драпированной аэро- или космоснимками, гораздо выше.



Рисунок 2 – Виртуальная модель местности

Для визуализации ВММ использовали трехмерные статические сцены и вращение вокруг заданной точки (рис. 2). Также была создана траектория движения по пойме реки Верх. Кейбраз для имитации движения на катере вверх по течению и записана в видео-файл.

Создание и визуализация ВММ выполнялась в САД-пакетах, которые не предназначены для этих целей, поэтому на некоторых этапах мы сталкивались с проблемой обработки данных ЦМР. Подобные модели очень требовательны к ресурсам компьютера, и даже наша небольшая модель местности оказалась громоздкой для того, чтобы быстро обработать ее на персональном компьютере.

В заключении, отметим такой факт, что в последние годы развитие компьютерной техники идет чрезвычайно стремительными темпами, мощность растет очень быстро, программные продукты оптимизируются под многоядерные процессоры, и количественные изменения в скорости обработки данных переходят в качественные. Поэтому степень реалистичности модели увеличивается.

Сегодня использование трехмерных моделей в учебном процессе очень востребовано. В большинстве случаев ВММ выполняет роль наглядного пособия, позволяющего демонстрировать в реальном времени многообразие форм рельефа земной поверхности и их отображение на топографической карте. Это способствует значительно лучшему усвоению

материала. Кроме того, ВММ может применяться:

- Для создания культурно-исторической модели, реалистично восстанавливающей исторические эпохи, событий, ландшафта (музеи, школы, вузы);
- Для обучения пилотов различных летательных аппаратов управлению и ориентации на незнакомой местности (особенно это важно для пилотов «малой авиации», летающих в горной местности);
- Для стратегического планирования крупных хозяйственных проектов и войсковых операций (люди, принимающие в подобной ситуации решение, зачастую не обладают навыками работы с классическими картографическими материалами).

#### Библиографический список

1. Инженерная геодезия: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ [Е.Б. Ключин, М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев, В.Д. Фельдман]; под ред. Д.Ш. Михелева. – 8е изд., стер.-М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 480с.
2. Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 1: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ [Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунова и др.]; под ред. В.С. Тикунова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.

УДК 622.235

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

**Зенчук Д.И., Волков С.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Волченко Г.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Управление эффективными параметрами буровзрывных работ (БВР) направлено на повышение производительности горного выемочно-транспортного оборудования и снижения себестоимости добычи полезного ископаемого и базируется, прежде всего, на выборе типа взрывчатых материалов и параметров БВР, при этом в роли оценки выступают критерии безопасности и качества взорванной горной массы. Более того, качество рудной массы зависит от качества выполненных БВР. Экономическая эффективность и безопасность являются основными критериями качества БВР. Качество и безопасность взрывных работ в основном определяют три фактора. Это тип применяемых взрывчатых веществ и средств инициирования, качество их изготовления и организация взрывных работ.

Качество взрывного дробления горного массива влияет на эффективность работы оборудования в технологическом потоке



горнодобывающего предприятия через удельное сопротивление разрушенной горной массы копанию (выемочно-погрузочные машины), разрыхление (транспортные средства) и размер кусков разрушенных пород (дробилки и мельницы). Оптимальные параметры взрывных работ в этом случае определяются путем минимизации финансовых, материальных, трудовых и энергетических затрат.

Процесс управления качеством БВР при дроблении технологических блоков зависит от качества предшествующих взрыву работ. На рисунке представлена схема основных процессов, влияющих на управление качеством БВР. Для управления качеством дробления взорванной горной массы необходим постоянный мониторинг оптимизации параметров БВР, определяющих технико-экономические показатели основных технологических процессов и оперативное их корректирование при неудовлетворительном качестве взрыва, т.е. обратная связь, что обозначено на рисунке стрелками.

Анализ влияния изменений параметров БВР на производительность горного выемочно-транспортного оборудования и себестоимость добычи полезного ископаемого можно определить на основе алгоритма управления параметрами БВР, который предусматривает: оперативный контроль прочностных свойств взрывааемых пород и их качество дробления; выбор эффективных параметров БВР на основе математического описания кусковатости; сравнение полученного качества дробления горной массы с прогнозируемым и корректировку параметров БВР для последующих взрывов в идентичных условиях по установленным отклонениям. Главным условием реализации данного алгоритма является необходимость создания средств оперативного контроля основных характеристик взрывааемых горных пород и их гранулометрического состава, а также разработка математической модели управления эффективными параметрами БВР.

С целью снижения влияния субъективных факторов качество процессов, представленных в схеме, их экономическую эффективность и безопасность БВР необходимо совершенствовать с помощью автоматизированных систем управления и проектирования (АСУ, САПР), на базе новейших разработок в области информационных технологий [1].

Опыт использования пакета программ Data Mining для построения контуров рудного тела, определения среднего содержания, балансовых запасов руды и полезных компонентов в зависимости от бортового содержания показывает, что значительно повышается качество интерпретации геологоразведочных работ и исходных данных для проектирования параметров БВР [1]. Если в дальнейшем воспользоваться автоматизированными системами проектирования и ведения буровзрывных работ, например, на базе геоинформационной системы K-MINE<sup>®</sup>, положительно опробованной на горнодобывающих предприятиях Украины, то за счет совершенствования менеджмента, логистики и др., управление качеством БВР неизбежно будет улучшаться [2].



Рисунок – Схема управления качеством процессов БВР

Система K-MINE<sup>®</sup> основывается на цифровой модели месторождения (маркшейдерская и геологическая информация) и предназначена для проектирования и ведения буровых работ на предприятиях с открытым и подземным способом добычи полезных ископаемых и с отбойкой горных пород с использованием взрыва. Данная система может строиться на принципе распределенных компьютерных сетей и позволяет вести информационный обмен данными с разными отделами предприятия: маркшейдерский, геологический, технический, производственный и др.

Применение буровой, зарядной и другой техники с элементами АСУ, состоящими в общей системе АСУ БВР позволит повысить эффективность ее управления и оперативность получения информации.

Оперативность входной и выходной информации при внедрении АСУ БВР позволит квалифицированнее управлять качеством БВР и получить экономический эффект за счет снижения себестоимости взорванной горной массы, за счет экономии ВВ при проектировании; корректировки паспортов взрывов по результатам предыдущих взрывов, что позволит улучшить качество взорванной горной массы; быстрого анализа экономических показателей буровзрывных работ на стадии проектирования; экономии

времени при проектировании БВР.

Стандартом, позволяющим подтвердить качество различных аспектов работы предприятия, является группа стандартов ISO 9000, которая рекомендует системный подход к управлению качеством и подтверждения качества, которые приняты в более чем 90 странами мира, в том числе и в России. Стандарты изложены в форме рекомендаций (ISO 9001 - 9003) и общих рекомендаций (ISO 9000 и 9004). В стандартах отсутствует описание методов, с помощью которых изложенные требования и рекомендации могут быть реализованы. Разработчики стандартов полагаются на инициативу и творчество конкретных исполнителей, которые в своих специфических условиях применят требования и рекомендации стандартов при осуществлении БВР. Системный подход включает разработку типовых проектов и нормативных требований с учетом изменения физико-технических условий и инноваций в способах ведения БВР для получения результатов дробления горных пород с требуемой крупностью, разрыхлением и навалом.

#### Библиографический список

1. Сайт «Горные информационные технологии» [Электронный ресурс]: <http://www.geocad-it.ru/>.
2. Сайт «Укрвзрывпром» [Электронный ресурс]: <http://www.uvp.org.ua/>.

УДК 622.6

### **ВЫБОР СОСТАВА ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ТАШТАГОЛЬСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Куничев О.Г.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Шеховцов В.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

С увеличением глубины горных работ на Таштагольском месторождении резко сокращаются рудные площади. Это связано главным образом с тем, что в зону охранных целиков попадают запасы участков «Северо-Западный» - 12,1 млн.т., «Восточный» - 19,1 млн.т.

Для сохранения земной поверхности от обрушения на основе мирового опыта наиболее целесообразно применение систем разработки с твердеющей закладкой[1-3].

Одним из основных направлений повышения эффективности систем разработки с твердеющей закладкой следует считать снижение себестоимости закладочных смесей за счёт использования бесцементного вяжущего и заполнителей из отходов производства. Использование вместо

дорогостоящего цемента отходов металлургической и горнодобывающей промышленности позволит значительно снизить себестоимость закладочной смеси.

Исследования составов и технологий приготовления дешёвой закладочной смеси на основе бесцементных вяжущих материалов представляет в настоящее время особый интерес. Такая проблема может быть успешно решена в условиях Западно-Сибирского региона, где сосредоточены предприятия горно-металлургического комплекса, транспортирующие в отвалы сталелитейные шлаки и горелую породу, обладающих вяжущими свойствами в композиции с активизатором - шламом от нейтрализации известью электролитов отработанных кислотных аккумуляторов[4].

В процессе изучения и отбора составов закладочной смеси для экономического сравнения были выбраны три состава[4]:

– в качестве вяжущего по данным проектного института ОАО «Сибгипроруда» рекомендован граншлак с активизацией цементом (таблица 1);

– составы закладочной смеси с использованием вяжущих на основе мартеновского и конверторного шлаков, рекомендованные в научной работе С.И. Павленко и Е.В. Корнеевой [4] (таблица 2).

Таблица 1 – Состав закладочной смеси, рекомендованный институтом ОАО «Сибгипроруда»

| Расход компонентов смеси на 1 м <sup>3</sup> , кг |          |             |      | Предел прочности при сжатии, МПа | Себестоимость смеси, руб/м <sup>3</sup> |
|---|----------|-------------|------|----------------------------------|---|
| Вяжущее   |          | Заполнитель | Вода |                                  |   |
| Цемент  | Граншлак |             |      |                                  |   |
| 40  | 400      | 1200        | 500  | До 10                            | 249,72                                  |

Таблица 2 – Составы закладочной смеси, рекомендованные по данным научной работы[4]

| Составы               | Предел прочности при сжатии, МПа | Расход компонентов смеси на 1 м <sup>3</sup> , кг |                |      |             |      | Себестоимость смеси, руб/м <sup>3</sup> |
|-----------------------|----------------------------------|---|----------------|------|-------------|------|---|
|                       |                                  | Вяжущее   |                |      | Заполнитель |      |   |
|                       |                                  | Шлак  | Горелая порода | Шлам | Шлак        | Вода |   |
| С мартеновским шлаком | 9,82                             | 1100  | 360            | 110  | 230         | 200  | 206,06                                  |
| С конверторным шлаком | 11,73                            | 1340  | 100            | 130  | 150         | 200  | 195,06                                  |

Экономический эффект от применения бесцементной твердеющей закладки рассчитывается по формуле[4]

$$\mathcal{E} = C_1 - C_2, \quad (1)$$

где  $C_1$  – себестоимость твердеющей закладки рекомендуемой к использованию на Таштагольском руднике.

$C_2$  – себестоимость разработанной бесцементной закладки.

Общее снижение себестоимости для состава с мартеновским шлаком составит

$$\mathcal{E} = 249,72 - 206,06 = 43,66 \text{ руб/м}^3.$$

Общее снижение себестоимости для состава с конверторным шлаком составит

$$\mathcal{E} = 249,72 - 195,06 = 54,66 \text{ руб/м}^3.$$

Проектная производительность закладочного комплекса Таштагольского филиала ОАО «Евразруда» составляет 395000 м<sup>3</sup>/год.

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E} \times P_{з.к}, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}$  – экономический эффект от применения разработанной бесцементной закладки;

$P_{з.к}$  – производительность закладочного комплекса.

Для состава с мартеновским шлаком условный годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований составит

$$\mathcal{E}_Г = 43,66 \text{ руб.} \times 395000 \text{ м}^3 = 17,24 \text{ млн. руб. / год.}$$

Для состава с конверторным шлаком условный годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований составит

$$\mathcal{E}_Г = 54,66 \text{ руб.} \times 395000 \text{ м}^3 = 21,59 \text{ млн. руб. / год.}$$

Из расчёта экономического эффекта от использования бесцементных искусственных массивов видно, что использование в качестве вяжущего конверторного шлака на 4,35 млн. руб/год эффективнее по сравнению с мартеновским.

В настоящее время на Таштагольском филиале ведутся подготовительные работы по промышленному испытанию технологии отработки с твердеющей закладкой. К отработке с использованием камерной системы разработки с твердеющей закладкой Таштагольский филиал ОАО «Евразруда» готовит технологический блок № 14 на участке «Северо-Западный» в этаже (-140)-(-210)м с запасами 510 тыс.т. По результатам промышленного эксперимента будет определён фактический экономический эффект от использования твердеющей закладки на основе местных материалов.

Выводы

1. Из-за сложных горно-геологических условий залегания полезных

ископаемых, необходимости сохранения земной поверхности затруднена добыча, увеличиваются потери в охранных целиках. Отрабатывать месторождения с вышеперечисленными факторами целесообразно лишь системами разработки с применением твердеющей закладки.

2. В связи с высокой себестоимостью приготовления закладочной смеси на основе цемента эффективность систем разработки снижается, поэтому единственно верным решением этой проблемы можно считать внедрение закладочной смеси, где в качестве вяжущего используются отходы производства (конверторные и мартеновские шлаки)

3. Фактические результаты внедрения бесцементной закладочной смеси будут получены после промышленного эксперимента.

#### Библиографический список

1. Требуков А.П. Применение твердеющей закладки при подземной добыче руд. //М.: Недра, 1981. – 172 с.

2. Хомяков В.И. Зарубежный опыт закладки на рудниках //М.: Недра. 1984. – 224 с.

3. Айрапетян Л.Г., Гальперин В.Г., Юхимов Я.И. Разработка месторождений с закладкой выработанного пространства на зарубежных подземных рудниках: Обзорн. информ. //М.: Ин-т «Черметинформация». 1989. – 36 с.

4. Корнеева Е.В., Павленко С.И. Композиционное бесцементное вяжущее из промышленных отходов и закладочная смесь на его основе: монография. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 139 с.

УДК 622.27

## **ВЫБОР СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Суртаева М.А.**

**Научный руководитель: Залеская О.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В условиях перехода отработки залежей на глубокие горизонты встает проблема правильного выбора и совершенствования существующих систем разработки с целью повышения безопасности горных работ, увеличения производительности труда и, следовательно, увеличения прибыли предприятия. В данной работе рассматриваются вопросы выбора, расчета и обоснования системы разработки, применяемой в условиях пятого горизонта

Зареченского месторождения.

Для разработки маломощных крутопадающих рудных тел в условиях подобных условиям Зареченского месторождения рекомендуется система разработки горизонтальными слоями с закладкой (патент на изобретение № 2352780 «Способ разработки рудных тел»).

Правильный выбор системы разработки месторождений полезных ископаемых оказывает очень важное влияние на экономическую деятельность горнорудного предприятия. Техничко-экономические показатели горного предприятия в конечном итоге определяются уровнем потерь и разубоживания, то есть показателями извлечения. Потери и разубоживание прежде всего зависят от применяемой системы разработки. Минимальных потерь полезного ископаемого достигают при правильном выборе систем разработки с учетом горно-геологических и горнотехнических условий.

К системам разработки предъявляются те же требования, что и в целом к разработке месторождений. Применяемая система разработки должна прежде всего обеспечивать безопасность ведения горных работ, их экономичность, наименьшие экономически и технически оправданные потери полезного ископаемого, охрану окружающей среды.

При выборе систем разработки или их вариантов в качестве критериев для оптимизации, кроме приведенных затрат, необходимо учитывать также и ряд других экономических и социальных факторов, в частности экологических.

Методика выбора заключается в первоначальном отборе всех технически приемлемых в рассматриваемых условиях систем. Далее из них по логическим соображениям отбирают конкурентоспособные, то есть заведомо лучшие по сравнению с другими, по каким-то показателям, и не проигрывают ни по одному из них. Конкурентоспособные системы требуют экономических оценок.

На основании расчетных данных для дальнейшего технико-экономического обоснования выбора для условий Зареченского месторождения рассматриваются две системы: камерная система разработки с твердеющей закладкой и система разработки горизонтальными слоями с твердеющей закладкой.

Камерная система разработки с твердеющей закладкой. Отработка камер ведётся через одну, технологические блоки – четырехкамерные. Порядок отработки этажей – нисходящий последовательный. Подготовка залежи – штрековая рудная. Рудный массив разбуривается станком НКР-100М из буровых камер верхнего горизонта веерами скважин. Подсечка траншейная. Доставка руды ведётся с помощью ПТ-4. Откатка локомотивная.

ТЭП по камерной системе разработки с твердеющей закладкой сведены в таблицу 1.

Система разработки горизонтальными слоями с закладкой. Описание

системы разработки: подготовка блока включает в себя проходку штреков на уровне откаточного горизонта, блоковых, вентиляционных, закладочных, рудоспускных восстающих, заездов и сбоек.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели (ТЭП) по камерной системе разработки с твердеющей закладкой

| Показатели   | По проекту  | Факт       |
|--|-------------|------------|
| Балансовые запасы блока, <i>t</i>  | 80926,9     | 65435      |
| Потери руды, %   | 6,8         | 5,5        |
| Разубоживание, %   | 10          | 5,5        |
| Удельный объем ПНР на подготовленные запасы руды, <i>m/1000t</i> ;<br><i>m<sup>3</sup>/1000t</i> | 5,9<br>30,2 | 6<br>52,92 |
| Выход горной массы с 1м скважины, <i>t</i>   | 20          |            |
| Удельный расход ВВ, <i>кг/т</i>  | 0,44        | 0,61       |
| Производительность труда забойного рабочего, <i>т/смену</i>                                      | 100,6       | 62         |
| Производительность труда по системе разработки, <i>т/смену</i>                                   | 57,7        | 35         |
| Себестоимость 1 т руды, <i>руб/т</i>   | 380,2       | 545,5      |

Очистные работы заключаются в послышной выемке руды в восходящем порядке от откаточного горизонта к вентиляционно-закладочному. Первый слой засекается из заезда. Очистные заходки, вследствие незначительной мощности рудного тела, располагаются по простиранию. Отбитая руда из очистных заходов доставляется к рудоспуску, перепускается на нижележащий горизонт, где с помощью люков АШЛ грузится в вагонетки ВГ-1,2 и электровозами 7 КР М1 транспортируется к стволу «Главный».

Для бурения шпуров принимаем перфоратор пневматический переносной ПП54В2 на пневмоподдержке П2, для доставки отбитой горной массы принимаем погрузочно-транспортную машину ПТ-4.

ТЭП по системе разработки горизонтальными слоями с закладкой сведены в таблицу 2.

Так как одна система обеспечивает лучшие показатели извлечения, а другая – более дешевую добычу, то в качестве критерия сравнения систем принимается комплексный критерий прибыли.



Таблица 2 – Техничко-экономические показатели (ТЭП) по системе разработки

| Показатели   | Проект      | Факт       |
|--|-------------|------------|
| Балансовые запасы блока, <i>t</i>  | 65436.8     | 65435      |
| Потери руды, %   | 5,3         | 5,5        |
| Разубоживание, %   | 5,3         | 5,5        |
| Удельный объем ПНР на подготовленные запасы руды, <i>m/1000m</i> ;<br><i>m<sup>3</sup>/1000m</i> | 4,1<br>36,7 | 6<br>52,92 |
| Выход горной массы с 1м шпура, <i>t</i>  | 24,4        |            |
| Удельный расход ВВ, <i>кг/т</i>  | 0,28        | 0,61       |
| Производительность труда забойного рабочего, <i>т/смену</i>                                      | 74          | 62         |
| Производительность труда по системе разработки, <i>т/смену</i>                                   | 45,9        | 35         |
| Себестоимость 1 <i>t</i> руды, <i>руб/т</i>  | 398,51      | 545,5      |

Таблица 3 – Техничко-экономическое сравнение предлагаемых систем разработки

| Показатели   | Проект      |             | Факт       |
|--|-------------|-------------|------------|
|  | Камерная    | Слоевая     |            |
| Балансовые запасы блока, <i>t</i>  | 80926,9     | 65436.8     | 65435      |
| Потери руды, %   | 6,8         | 5,3         | 5,5        |
| Разубоживание, %   | 10          | 5,3         | 5,5        |
| Удельный объем ПНР на подготовленные запасы руды, <i>m/1000m</i> ;<br><i>m<sup>3</sup>/1000m</i> | 5,9<br>30,2 | 4,1<br>36,7 | 6<br>52,92 |
| Выход горной массы с 1м шпура, <i>t</i>  | 20          | 24,4        |            |
| Удельный расход ВВ, <i>кг/т</i>  | 0,44        | 0,28        | 0,61       |
| Производительность труда забойного рабочего, <i>т/смену</i>                                      | 100,6       | 74          | 62         |
| Производительность труда по системе разработки, <i>т/смену</i>                                   | 57,7        | 45,9        | 35         |
| Себестоимость 1 <i>t</i> руды, <i>руб/т</i>  | 380,2       | 398,51      | 545,5      |

Как показывают расчеты система разработки горизонтальными слоями с твердеющей закладкой на 3,4 % менее прибыльна, чем камерная система разработки, что является незначительным отклонением. Также система разработки горизонтальными слоями с закладкой обеспечивает лучшие показатели извлечения, что немаловажно при добыче ценной руды и используется на предприятии.

Годовой экономический эффект от применения система разработки горизонтальными слоями с твердеющей закладкой составит 10,7 млн. рублей в год.

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАРЕВШИХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ**

**Горбунов А.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Щербина Г.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

На шахтах и рудниках РФ вентиляторы типа ВОКД и ВОД составляют около 55 % парка действующих машин. При этом вентиляторы ВОКД работают по 30–45 лет, а ВОД – более 15–25 лет. В первом случае это означает трех-, а во втором – двукратную переработку проектного ресурса.

Вентиляторы указанных типов морально устарели еще в начале 80-х годов, так как к тому времени около 83 % парка главных вентиляторов шахт, например, США, Германии и других стран использовали осевые машины с поворотными на ходу лопатками рабочего колеса [1].

Указанные вентиляторы не обеспечивают возможности регулирования на ходу режима подачи воздуха, плохо реверсируются, а также имеют ряд других недостатков. Они, как правило, двухступенчатого исполнения с профильными (телесными) лопатками с диаметром рабочего колеса от 1500 до 5000 мм и изготавливаются без использования высококачественных материалов, поэтому предельные окружные скорости, которые удалось получить на вентиляторах серии ВОД, не превышают 78,8 м/с. По указанной причине отечественные вентиляторы отличаются высокой удельной металлоемкостью и чрезмерно большими габаритами.

Известно, что более 30 % отказов осевых вентиляторов приходится на выход из строя ротора, в том числе из-за лопаток рабочего колеса [2].

Как известно, установки с вентиляторами ВОКД реверсируются посредством обводных каналов, а с вентиляторами ВОД – путем выключения вентилятора, изменения направления его вращения и поворота лопаток спрямляюще-направляющего (СНА) и спрямляющего (СА) аппаратов вентилятора. Поэтому надежность таких установок, особенно в режиме реверсирования, недостаточна.

Анализ отечественного и зарубежного опыта различных способов регулирования и реверсирования вентиляторов показывает, что требуемые диапазоны подач, давлений и скорости их изменения могут быть наиболее эффективно обеспечены осевыми вентиляторами с поворотными на ходу лопатками рабочих колёс.

Зарубежные фирмы «Турмаг», «Турболуфт техник» и «Динглер» (Германия), «Нордиск» (Дания), «Дэвидсон Сирокко», «AEREX LTD (Англия) и другие ещё в 1960-е годы начали эти работы и к настоящему времени изготавливают осевые вентиляторы с поворотными на ходу лопатками рабочего колеса. В Советском Союзе также в 1960-е гг. в

Томском политехническом институте, ИГД СО РАН были начаты работы по созданию осевых вентиляторов с поворотными на ходу лопатками рабочего колеса, которые реверсируются путем их разворота на угол 42... 135°.

Известно, что в структуре электропотребления шахт удельный расход электроэнергии на проветривание постоянно увеличивается с ростом газообильности от 1 до 25 м<sup>3</sup>/т, достигая значения примерно 55...72% в то время, как доля относительного потребления электроэнергии на подземную добычу и транспорт угля уменьшается с 32 до 12%. Таким образом, затраты электроэнергии на проветривание подземных горных выработок и забоев в существенной мере определяют электропотребление шахты [3], поэтому улучшение систем шахтной вентиляции и модернизации вентиляторов чрезвычайно актуально.

Ещё в 80-х годах Институт горной механики им. М.М. Федорова (г. Донецк) предложил использовать для крупных осевых вентиляторов аэродинамические схемы на основе сдвоенных листовых лопаток РК.

В настоящее время в России ведутся работы по разработке, модернизации, освоению производства и опытной эксплуатации нового ряда осевых одноколёсных вентиляторов серии ВО со сдвоенными лопатками, в которых осуществлен переход от рычажного механизма поворота лопаток к реечному, отказ от трансмиссионных валов и верхний забор воздуха. Это позволило повысить надежность вентиляторных агрегатов, сократить их габариты и стоимость строительных сооружений установок. Производство вентиляторов ВО-21К и ВО-24К освоено на двух заводах РФ. Они работают на установках двух шахт Кузбасса и трёх рудниках Восточной Сибири и Дальнего Востока. Разрабатывается проектно-конструкторская документация на вентиляторы ВО-43К и ВО-50К.

Таким образом, модернизация вентиляторов ВОКД и ВОД, многократно выработавших проектные ресурсы, не только решает организационно-технические проблемы безопасности, получения разрешения на продление сроков их службы, но и обеспечивает значительный экономический эффект, в том числе за счет снижения энергопотребления на 35...40 %.

Регулирование и возможность форсирования режима проветривания при загазованиях (задымлениях), а также возможности эффективного реверсирования главных вентиляторов после их модернизации позволяют существенно повысить безопасность ведения подземных горных работ, особенно при авариях.

#### Библиографический список

1. Петров Н.Н. Пути модернизации устаревшего парка главных вентиляторов шахт [Текст] / Н.Н. Попов, Н.А. Попов // Безопасность труда в промышленности. 2000, № 11. – С.36-40.

2. Демочко С.И. Неисправности шахтных вентиляторных установок главного проветривания [Текст] / С.И. Демочко, А.В. Кузнецов, В.П. Паршинцев. М.: Недра, 1990.

3. Разгильдеев Г.И. Структура энергопотребления и ресурсы энергосбережения на шахтах Кузбасса / Г.И. Разгильдеев // Уголь. 2000, № 7. – С.48-50.

УДК 622.236.5

## **АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРОХОДЧЕСКИМИ КОМБАЙНАМИ**

**Носков Е.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Щербина Г.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Важнейшим фактором, определяющим повышение эффективности и рентабельности добычи угля подземным способом, является технический уровень применяемого оборудования и прежде всего средств механизации основных технологических процессов при выемке угля и проведении горных выработок.

В угольной промышленности РФ состояние горно-подготовительных работ не позволяет обеспечить требуемые темпы воспроизводства очистного фронта [1]. При мощности пласта 1...4 м и нагрузке на лаву 1...3 млн. т/год необходимо обеспечить темпы проведения горных выработок не менее 300 м/мес. [1]. Достижение таких показателей возможно лишь путем создания новых технологий комбайновой проходки выработок, темпы которой в 2,5–3,0 раза превышают темпы при буровзрывной технологии и обеспечивают увеличение в 1,5–2,0 раза производительность труда рабочих. Кроме того, главным достоинством комбайновой проходки является и несравненно большая безопасность подземных работ.

Однако на угольных шахтах России объем комбайновой проходки составляет приблизительно 65,6 % от общего объема проведения выработок. При этом в отдельных угольных компаниях он достигает 72...98 %. Анализ результатов комбайнового способа проведения выработок показывает, что, несмотря на очевидную прогрессивность этого способа, технико-экономические показатели применения отечественных комбайнов на шахтах РФ являются недопустимо низкими [1].

Анализ технической и патентной литературы показывает, что одним из путей повышения технического уровня проходческого оборудования, может стать использование в конструкции исполнительных органов проходческих комбайнов способа разрушения, основанного на совместном воздействии на породный массив механического инструмента и высокоскоростной струи воды [2-4]. Это обеспечит расширение области применения комбайнов для породы повышенной крепости и увеличение темпов проходки горных

выработок. Кроме того, применение гидромеханических исполнительных органов на проходческих комбайнах также будет способствовать резкому снижению пылеобразования в рудничной атмосфере [2].

При этом нагруженность механического инструмента может быть снижена в среднем на 27...70 % [1], производительность по отбойке породы повышена в 1,8–3,8 раза [2], а скорость проведения выработок увеличена в 1,5–2,0 раза [2]. Вместе с тем установлено [2–4], что и для проходческих комбайнов с гидромеханическим исполнительным органом существуют резервы повышения эффективности их работы (увеличение производительности по отбойке породы и снижение энергозатрат при разрушении пород или расширение области применения комбайнов на породы с пределом прочности на одноосное сжатие  $>100$  МПа), связанные в первую очередь с увеличением режущей (разрушающей) способности высокоскоростной струи воды. Здесь существуют два основных направления: создание и использование, во-первых, гидроимпульсных струй и, во-вторых, непрерывных струй воды сверхвысокого давления (свыше 200 МПа).

Значения глубины щели, прорезаемой импульсной струей воды выше (при одинаковой гидравлической мощности), чем непрерывной, и сопоставимы с глубиной резания механическим инструментом (резцом). Поэтому применение импульсных струй воды высокого давления в конструкциях гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов взамен непрерывных струй воды позволит повысить производительность процесса щелеобразования при той же самой гидравлической мощности или, сохраняя производительность процесса щелеобразования, снизить энергоёмкость процесса разрушения породного массива за счёт уменьшения потребляемой гидравлической мощности источника воды высокого давления.

Использование энергии высокоскоростных струй воды для резания горных пород и твердых материалов (гидроструйные технологии) получило признание во всем мире как одно из перспективных направлений развития техники и технологии, а применение гидромеханического резца, в котором подача воды высокого давления осуществляется через струеформирующее устройство, размещённое внутри осевого канала, обеспечит защиту насадки от заштыбовки, т.е. постоянное истечение высокоскоростной струи на массив. Промышленные испытания опытного образца гидромеханического выемочного комбайна в Кузбассе подтвердили эту идею снижением в 1,5...1,8 раза мощности потребляемой электроприводом комбайна, улучшением сортности угля с уменьшением в 4 раза выхода класса 0...6 мм, снижением в 200...400 раз запылённости воздуха и уменьшением расхода зубков с 16 резцов при механической отбойке на 1000 т до 2 штук при гидромеханическом. Отсутствие контакта режущего инструмента (струи воды) с разрушаемым массивом, возможность снижения металлоёмкости забойного оборудования при одновременном увеличении его

энерговооруженности за счет дистанционного расположения энергетического оборудования, эффективное обеспечение пылевзрывозащиты являются основными преимуществами этого способа разрушения.

#### Библиографический список

1. Линник Ю.Н. Концепция развития очистного, проходческого, конвейерного и бурового оборудования на период до 2020 г. [Текст] / Ю.Н. Линник, И.С. Кратким, В.Г. Мерзляков и др. // Горное оборудование и электромеханика. 2006, № 2. – С. 2-12.

2. Бреннер В.А. Гидроструйные технологии в промышленности. Гидромеханическое разрушение горных пород [Текст] / В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, А.Е. Пушкарев, М.М. Щеголевский. М.: Изд-во АГН, 2000. – 343 с.

3. Мерзляков В.Г. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве [Текст] / В.Г. Мерзляков, В.Е. Бафталовский М.: ННЦПП-ИГД им. А.А. Скочинского, 2004. – 645 с.

4. Качурин Н.М. Расчет и проектирование гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов [Текст]/ Н.М. Качурин, В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, М.М. Щеголевский, И.Г. Лавит. М.: Изд-во МГГУ, 2003. – 293 с.

УДК 621.3

## РАЗВИТИЕ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КУЗБАССА

**Чевычалова А.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Громова О.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В этом году отмечается знаменательная дата – 290 лет со времени открытия месторождений открытия угля в Кузнецком бассейне. Кузнецкий уголь – это энергетическая безопасность он дает электроэнергию и тепло. Кузнецкий угольный бассейн, занимает 1/3 Кемеровской области, которая выделилась в самостоятельную административную единицу (из Новосибирской области) в 1943 г. По структурно- тектоническим особенностям в бассейне выделены 25 геолого-экономических районов, из которых освоены 17. Угли Кузбасса имеют низкое содержание золы, серы, фосфора и воды. В России на долю Кузбасса приходится 35,5% общих запасов и 66,4% – запасов коксующихся углей. Угольные запасы Кузбасса составляют 733 млрд. т. высококачественного и разнообразного по химическому составу каменного угля и отличаются разнообразным марочным составом (более 60) .

Экономическая история угольного Кузбасса началась в 20-х гг. XVIII века, когда были открыты угольные бассейны Кузбасса. Угля добывалось

мизерное количество. В 1885 г. единственная в Кузбассе «Бачатская Копь» выдала 810 т. угля, что составило 0,3% общего количества угля, добываемого в России.

Важнейшим районом добычи угля стали северные районы Кузбасса, непосредственно примыкающие к железной дороге. В 1897 г. здесь были открыты Судженские копи Михельсона и Анжерские копи путей сообщения. С 1901 г. по 1913 г. добыча угля в этом районе возросла с 8 миллионов пудов до 47, 2 миллионов пудов или почти в шесть раз за 13 лет. Рост промышленности Кузбасса наметился накануне и в годы первой мировой войны, когда правительством было признано, что для будущего развития Сибири и Урала огромное значение имеют не только золото и серебро, имеющиеся в этом районе, но и огромные запасы каменного угля и железной руды.

Колебания в добыче угля 1921-1924 гг. были отражением неустойчивости потребления Кузнецких углей. Основным потребителем топлива была транссибирская магистраль, потреблявшая 60,5 % добытого угля. Промышленное потребление было незначительным, оно составляло 16,9 %.

В довоенный период Кузбасс превратился во вторую «кочегарку» страны. Уже в 1927- 1928гг. он дал около 7% всесоюзной добычи угля. В 1940 г. в Кузбассе было добыто 21104 тыс. т. угля. Это в 27 раз превосходило уровень 1913 г. и почти в 9 раз уровень 1928 г. Возросла доля Кузнецких углей в общесоюзной добыче и в 1940 г. равнялась 13,6 %.

Быстрые темпы развития угольной промышленности обеспечивались в основном шахтным строительством. Уже к концу первой пятилетки новые шахты давали половину всего добытого угля, а к 1937 году производственные фонды отрасли были обновлены на 90%. Шахтный фонд к концу 1937 г. состоял из 32 шахт общей проектной мощностью 23,5 млн. т.

За 1941-1945гг. общая добыча угля в бассейне увеличилась на 137%, коксующегося – в 1,9 раза. В 1943г. в Кузбассе добывалось примерно 48,5% общесоюзной добычи угля.

Основной прирост добычи угля в Кузнецком бассейне шел за счет шахт, вступивших в строй еще в довоенное время. Производственная мощность шахтного фонда Кузбасса (47 шахт) составляла 51354 тыс. т. в год. Фактическая же добыча в 1942г. равнялась 20958 тыс. т. или только 40,8% производственной мощности шахтного фонда бассейна. Рост угольной промышленности обеспечивался определенными успехами в механизации добычи, так за годы войны на заводах черного машиностроения было освоено более 20 различных видов горных машин и механизмов

На 1946-50гг. были намечены новые задачи для угольной промышленности Кузбасса, и в 1950г. добыча угля составила 36,8 млн.т., что было больше чем в 1945г. на 7,8 млн.т. или на 124%.

В 1950г. размеры и темпы роста добычи угля нарастают, разворачивается освоение гидравлического и открытого способов добычи. В

1948г. вступил в строй первый в Кузбассе Краснобродский разрез, в 1953г. - первая гидрошахта «Полысаевская-Северная».

Таким образом, за 30 лет (1928-1958гг.) добыча угля возросла в 29 раз и составила в 1958г. 75 млн.т. Еще более быстрыми темпами увеличилась добыча коксующихся углей за эти годы: с 245 тыс.т. до 25,7 млн.т. или почти в 105 раз. Удельный вес добычи угля Кузбасса в 1958г. составил 15,2% от общесоюзного, а коксующегося угля 27,2%.

К 1957г. был закончен подсчет запасов угля по Кузнецкому бассейну. Оценка запасов, по сравнению с подсчетом, выполненным в 1937г., удвоилась и составила 905 млрд. т., в том числе коксующихся 341,6 млрд. т. Из общих запасов угля СССР это составляет 10,6%, а из запасов, представляющих реальную ценность для практического использования – 35,5%.

В 1971-1975гг. на долю Кузбасса приходилось треть общесоюзного прироста добычи топлива. Эти данные говорят о том, что роль и значение угольной промышленности Кузбасса уменьшились, несмотря на общее снижение доли угля в топливном балансе страны.

Если в 1928г. в Кузбассе механизированным способом было добыто всего 36 тыс.т. угля или менее 2% общей добычи, то в 1977г. более 80 млн. т. - 60%.

Все большее распространение получает в бассейне прогрессивный открытый способ добычи угля, при котором себестоимость одной тонны угля уменьшается примерно в два раза, капитальные вложения на 1/3, производительность труда возрастает в три раза.

В 80-е гг. идет дальнейший рост добычи угля, так в 1989г. хозяйство страны получило из Кузбасса 4,5 млрд. т. угля, таким образом, добыча угля за 72 года (1917-1989) выросла в 129 раз. Однако, вторая половина 80-х гг. характеризуется замедлением темпов роста угольной промышленности Кузбасса.

Таким образом, с 70-80гг. угольная промышленность в Кузбассе имела большое значение в развитии области: так в 1970г. добыли 113 млн.т. угля – рост на 54,7 %, в 1980г. 145 млн.т. угля - рост на 128%, а в 1990г. 150 млн.т. – рост на 103,4, в 2000г. 114,9млн.т., 2010г. 100,0млн.т энергетического.

В 90-е гг. XX в угольная промышленность Кузбасса вступила в процесс реструктуризации.

#### Библиографический список

1. История индустриализации Западной Сибири (1926-1941гг.). Документы и материалы - Новосибирск, 1967г.
2. Кузбасс в цифрах 2000-2006гг. статистический справочник.- Кемерово, 2001-2007.-56с.
3. «Уголь» №1, 2007
4. «Деловой Кузбасс» №11-12, 2005-2006



### **III. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 669.263.1

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОХРОМА**

**Ходосов И.Е., Силин М.Ю., Чукреева Е.С.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Нохрина О.И.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Хром – один из самых важных легирующих элементов, применяемых в черной металлургии. Добавка хрома к обычным сталям улучшает их физические свойства и делает металл более восприимчивым к термической обработки. Хромом легируют пружинные, рессорные, инструментальные, штамповые и шарикоподшипниковые стали. Основным источником хрома является хромитовая руда.

В настоящее время почти 90 % производства хромитовой руды сосредоточено в трех странах: ЮАР – 41 %, Индии – 17 %, Казахстане – 15 %, так же хромовые руды добываются в Турции, Зимбабве и Финляндии. Доля России составляет около 2 %. Однако, основным экспортером хромсодержащих сплавов и порошков является Россия, с долей в общих объемах экспорта 26 %. Значительное количество руды используемой для выплавки сплавов отечественного феррохрома добывается на Южно-Кемперсайском месторождении хромовой руды Донским ГОКом, созданным еще в 1938 г. Для Кимперсайского массива характерны высокохромистые руды, которые достаточно полно исследованные и характеризуются стабильными технологическими показателями. Данные богатые руды стали дефицитными для ферросплавной промышленности России, так как после распада СССР Казахстан увеличил внутреннее потребление хромитов, расширил производственные мощности феррохрома, сократил в 2 – 2,5 раза поставки хромитовых руд с одновременным повышением цены в 2 – 3 раза. В связи с этим отечественные предприятия были вынуждены находить другие источники хроморудного сырья. Сложившаяся ситуация сохранятся. Основной резерв запасов хромовых руд Казахстана представляют месторождения пригодные для подземной разработки, это может свидетельствовать о том, что в ближайшие 50 лет дефицит высококачественных хромовых руд Кимперсайского месторождения будет неизбежен.

Общие прогнозные ресурсы хромовых руд России значительны, они достигают 623 млн.т. Страна по этому показателю выходит в пятерку главных сырьевых стран. В 2010 году производство хрома в России

увеличилось на 91 % до 14,5 тыс.т., а объем импорта уменьшился на 48 %, таким образом, потребление хрома в России увеличилось почти в два раза до 770 тонн. Собственное производство обеспечивает 12% потребности и составляет 4 % от достигнутых мощностей. В результате основной объем потребляемых руд импортируется. Таким образом, хромовые руды являются для России остродефицитным стратегическим сырьем. На сегодняшний день промышленное значение приобрели протяженные запасы Полярного и Приполярного Урала, расположенные на территории республики Коми и Ненецкого национального округа. В этом регионе в направлении с Севера на Юг выявлены крупные хромитоносные массивы. Месторождения Приполярного Урала претендуют в настоящее время на то, чтобы стать главной сырьевой базой России. Однако, процесс перехода ферросплавной промышленности на отечественное хромовое сырье затруднен рядом факторов, к ним можно отнести: трудности разработки месторождений, вызванные климатическими и ландшафтными особенностями Приполярного Урала; представленной информацией о строении руд и свойствах хромитов Уральского региона данной в основном, в геологическом аспекте, в отрыве от металлургических свойств. Не маловажно отметить, что ферросплавная промышленность России представлена широкой географией, в связи с этим важно проводить исследование новых месторождений хромовой руды. Наиболее перспективным является комплексный подход к исследованию.

В 2010 году на кафедре металлургии черных металлов стандартизации и сертификации СибГИУ была начата работа по исследованию металлургических свойств хромовой руды, которая была обнаружена в результате геологической разведки на смежной территории Кемеровской области и Алтайского края. Данная руда относится к рудопроявлению с названием Успенское. Исследованию подверглась горная масса объемом один кубический метр и массой три тонны.

Рудопроявление Успенское характеризуется протяженностью 17 км. Предварительная оценка мощности месторождения 200000 тыс.т. Рудная масса представлена глиной – 40 % и 60 % – обломочная фракция, в которой основная масса, более 70 %, относится к классу +10, также присутствует песчаная фракция классом -1 и рудные глыбы классом +40.

Пригодность хромовой руды для производства феррохрома определяется следующими требованиями: содержание в руде  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  не менее 47 %;  $\text{SiO}_2$  не более 7 – 10 %; соотношение  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}_{\text{общ}}$  должно быть не менее 3 – 3,5; содержание P не более 0,008. Не маловажным показателем при оценке пригодности хромовой руды к производству феррохрома является соотношение  $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  при повышении данного показателя более двух, шлаки становятся высокомагнезиальными, что затрудняет ведение процесса выплавки феррохрома. Однако, знание химического и минералогического состава недостаточно для оценки технологических характеристик.

В ходе проведения первого этапа работ исследовались: химический и минеральный состав хромовых руд; температура начала размягчения;

кинетика восстановления.

Результаты химического анализа в сравнении с рудами Кимперсайского и Сарановского месторождений (таблица – 1) показали, что исследуемая руда удовлетворяет требованиям отечественных ферросплавных заводов. Соотношение  $Cr_2O_3/FeO_{общ}$  находится выше допустимого минимума, что обеспечивает возможность получения феррохрома с 60 – 70% Cr, соотношение  $MgO/Al_2O_3$  менее 1, и хотя этот показатель не стабильный, исследуемая хромовая руда высокоглиноземнистая, что должно улучшать процесс шлакообразования при выплавке феррохрома.

Таблица 1 – Химический состав руды рудопроявления Успенское, Кимперсайского и Сарановского месторождений

| Содержание, мас. %  | Руда                     |                             |                           |
|---------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|                     | Успенское рудопроявление | Кемпирсайское месторождение | Сарановское месторождение |
| $Cr_2O_3$           | 52,44                    | 53,83                       | 37,42                     |
| $FeO_{общ}$         | 13,7                     | 11,84                       | 20,09                     |
| $Al_2O_3$           | 12,68                    | 7,96                        | 20,86                     |
| $MgO$               | 11,97                    | 18,01                       | 15,22                     |
| $SiO_2$             | 7,2                      | 6,47                        | 5,22                      |
| $CaO$               | 0,18                     | 0,32                        | 0,20                      |
| S                   | Не опр.                  | 0,015                       | 0,45                      |
| P                   | 0,004                    | 0,002                       | Не опр.                   |
| $Cr_2O_3/FeO_{общ}$ | 3,8                      | 4,5                         | 1,8                       |
| $MgO/Al_2O_3$       | 0,94                     | 2,26                        | 0,72                      |

Технологические свойства хромовой руды определяет вид хромшпинелита, главного рудообразующего минерала. В хромой руде зёрна хромшпинелита катализированы и могут быть представлены: магнохромитом  $(Mg,Fe)O \cdot Cr_2O_3$ , хромпикотитом  $(Mg,Fe)O \cdot (Cr,Al)_2O_3$ , алюмохромитом  $FeO \cdot (Cr,Al)_2O_3$ . Зерна хромшпинелитов сцементированы либо серепентинитом  $3(Mg,Fe)O \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , либо железистым цементом. К компонентам пустой породы относят: тальк, магнезит, кварцит, гидроксид железа. В результате проведения фазового анализа получено описание качественного состава (таблица - 2). Представленная руда (класс +10) составлена соединениями: гетит, кварц, хромпикотит; сопровождающая порода: тальк, хлорит полево шпат.

Таблица 2 – Результаты рентгенофазового анализа

| Результаты РФА |                            |
|----------------|----------------------------|
| Много:         | Гетит                      |
| Присутствует:  | Кварц, хромпикотит         |
| Немного:       | Тальк, хлорит, полево шпат |

Устойчивость хромовой руды к температуре определялась с применением микроречи. Температура начала плавления определена такой, при которой происходит сплавление острых комочков частиц руды. В результате проведенных опытов установлено усредненная температура начала размягчения  $t_{\text{раз}} = 1640$  °С.

Проведенные исследования являются начальным этапом комплексной оценки технологических свойств хромовой руды Успенского рудопроявления. Далее необходимо провести работы по определению металлургической значимости, возможности промышленного использования и выявлению взаимосвязи между выявленными структурными особенностями хромовой руды и ее технологическими свойствами.

УДК 553.461 (571.17)

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХРОМИТОНОСНОЙ РУДЫ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**Ходосов И.Е., Лазаревский П.П., Силин М.Ю.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Нохрина О.И.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Перспективы развития металлургической отрасли в промышленности России оцениваются как значительные в развитии народного хозяйства. В металлургический комплекс входят более 800 крупных и средних предприятий, в отрасли занято почти 1,5 миллиона человек. Среди современных тенденции, положительной является увеличение внутреннего потребления металлургической продукции с высокой степенью передела. Соответствует мировым темпам рост потребления хромосодержащих материалов. В частности возросло потребление углеродистого феррохрома в связи с широким ведением в строй агрегатов аргонокислородного рафинирования и вакуумных технологий ковшевого рафинирования. За период 2010 года потребление хрома в России увеличилось почти в два раза до 770 тонн. Для производства ферросплавов используется хромвая руда. Распад СССР лишил ферросплавную промышленность России рудной базы в Казахстане. В девяностых годах прошлого века для производства феррохрома пришлось ввозить руды из Индии, Албании, Турции. Получила перспективу разработка рудной базы на Полярном и Приполярном Урале. Таким образом, хромовые руды являются для России остродефицитным стратегическим сырьем. Отсутствие надежной сырьевой базы стало насущной проблемой отечественной ферросплавной промышленности.

В 2010 году на кафедре металлургии черных металлов стандартизации и сертификации СибГИУ была начата работа по исследованию металлургических свойств хромовой руды. Данная руда принадлежит

Успенсоку рудопроявлению, расположенному на смежной территории Кемеровской области и Алтайского края. В результате проведенных исследований определен химический и минералогический состав руды, температура размягчения. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения руды в металлургических процессах. Соотношение  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}_{\text{общ}}$  находится выше допустимого минимума, что обеспечивает возможность получения феррохрома с 60 – 70 % Cr, соотношение  $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  менее 1. Для комплексной оценки технологических свойств хромовой руды необходимо провести работы по определению металлургической значимости, возможности промышленного использования и выявлению взаимосвязи между выявленными структурными особенностями хромовой руды и ее технологическими свойствами.

В лаборатории кафедры металлургии черных металлов стандартизации и сертификации СибГИУ был проведен ряд опытов, направленных на исследование металлургических свойств хромовой руды. Изучение кинетики восстановления позволит оценить восстановимость руды, а также описать процесс восстановления. Оценка проводилась методом непрерывного взвешивания. Термовесовой метод заключается в нагреве шихты и оценки изменения ее массы. Исследуемый образец помещали в корундовый тигель и помещали в печь, предварительно нагретую до различных температур. Образец - навеска из хромовой руды фракции 2-5 мм и кокса фракции 3-5 мм. Шихту рассчитывали на полное восстановление хрома и железа с незначительным избытком. На рисунке 1 приведены результаты кинетических исследований при 1600 °С, 1700 °С и 1800 °С.

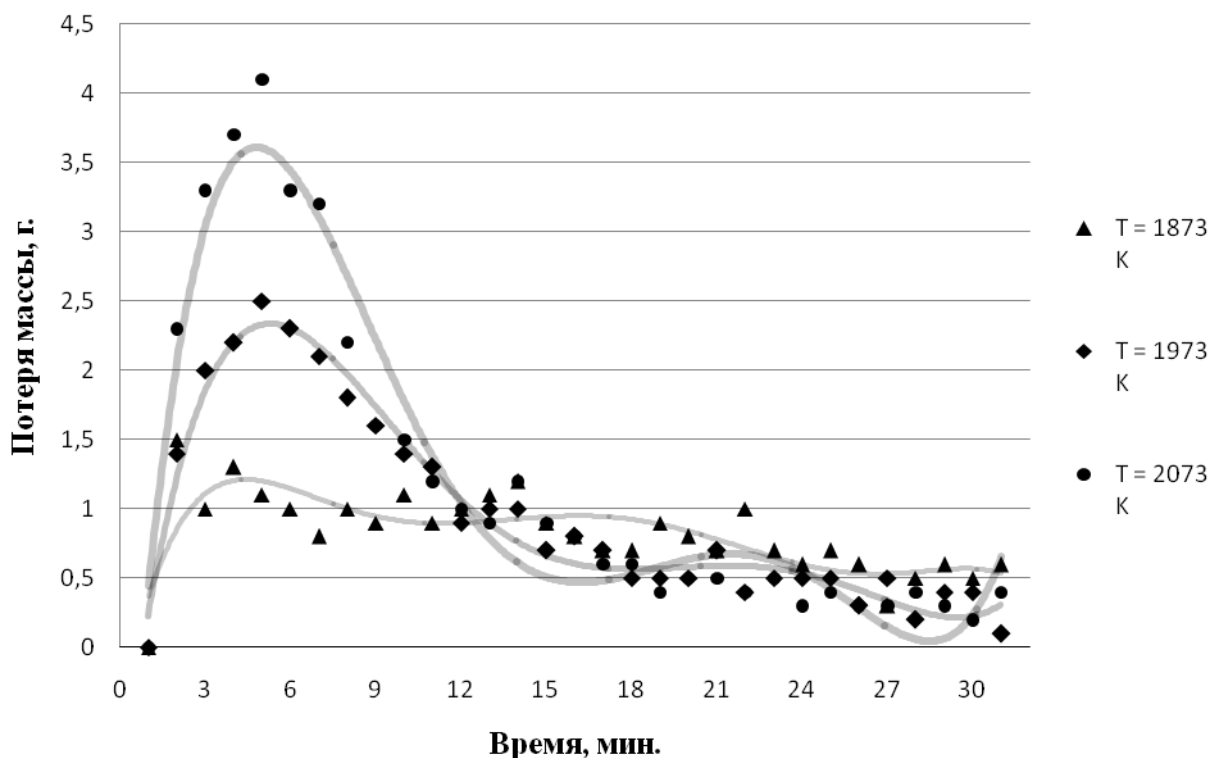


Рисунок 1 – Кривые убыли веса при восстановлении хромовой руды

Степень восстановления была рассчитана как отношение убыли массы полученной в ходе проведения эксперимента к массе газовой фазы CO полученной расчетным путем. Усредненный показатель степени восстановления  $a = 34 \%$ .

Исследования показали, что представленная руда может быть использована для получения стандартных сплавов феррохрома согласно требованиям ГОСТ 4757 – 91. Далее необходимо провести работы направленные на определение технологических характеристик использования руды в процессе производства феррохрома. Исследования направлены на: определение фазовых превращений карботермического восстановления; изучение шлаков образующихся при восстановлении руды; оценка возможности восстановления хромшпинелита в газовой фазе; выявление особенности структуры и ее связь с технологическими свойствами. Результаты запланированных исследований являются темой последующих публикаций по тематике изучения комплекса металлургических свойств хромовых руд рудопроявления «Успенсоке»

УДК 546.28.05:621.365.4

## **ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ ПРИ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЕ КОКСА**

**Сидоренко Н.Н., Скрипко А.А., Голубева Е.А.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Рожихина И.Д.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Важным фактором Российской экономики является создание и поддержание на необходимом уровне собственной минерально-сырьевой базы.

Высокие технико-экономические показатели производства и возможность получения металла с самыми высокими свойствами вызвали непрерывное повышение роли электрометаллургии в сталеплавильном производстве. Наряду с этим получили дальнейшее развитие фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования электроферросплавных процессов, внедряется в производство принципиально новые технологические процессы получения и рафинирования ферросплавов, введены новые стандарты на ферросплавную продукцию, решается ряд проблем комплексного использования сырья и охраны окружающей среды.

Успешное развитие электротермического производства ферросплавов, наряду с дальнейшими работами по созданию минерально-сырьевой и электроэнергетических баз, во многом определяется ускорением разработки теории и технологии переработки руд и концентратов. Первоочередными

задачами являются разработки в области физико-химического фундамента технологических процессов получения ферросплавов углеродо-, силико-, алюминотермическими способами на всех стадиях подготовки и электротермического переплава сырья, а также рационального применения ферросплавов в черной металлургии и других отраслях техники. На основе глубоких теоретических исследований необходимо разрабатывать более подходящие виды углеродистых восстановителей, а также более эффективные схемы подготовки сырья путем предварительной термической обработки.

Для значительного повышения качества металла, его прочностных характеристик и эксплуатационных свойств, чистоты металла по содержанию вредных примесей и неметаллических включений, важная роль отводится производству кремнистых ферросплавов. Без этих сплавов невозможно получение не только легированных, но и рядовых углеродистых сталей.

Изучение физико-химических свойств кварцитов различных месторождений позволит расширить рудно-минеральную базу России.

Процесс получения кремния и его сплавов осуществляется в электрических дуговых печах с применением относительно чистого сырья.

Процесс получения кремния и его сплавов осуществляется в электрических дуговых печах с применением относительно чистого сырья. Рудным компонентом типичной шихты являются кварциты с высоким содержанием кремнезема. Главные требования к породам, применяемым в качестве сырья их чистота по содержанию наиболее вредных примесей оксидов алюминия, кальция, титана, фосфора и мышьяка.

Химический состав кварцитов Антоновского месторождения приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исходных кварцитов

| Кварцит     | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MgO  |
|-------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|------|
| Антоновский | 97,4             | 0,50                           | 0,22                           | 0,55 | 0,014                         | 0,05 |

Так как кокс является дорогим и дефицитным, следует найти альтернативную ему замену. В настоящее время на ферросплавных заводах часть кокса заменяется ископаемыми углями. Они должны отвечать следующим требованиям: низкозольность, оптимальный выход летучих, достаточная механическая прочность, высокая термическая стойкость, низкое содержание нежелательных минеральных примесей.

Вышеперечисленным требованиям отвечают и могут быть использованы при производстве кремнистых сплавов длиннопламенные угли (марки ДО) и бурые угли (марки БПК).

Химический состав восстановителей представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав исходных восстановителей

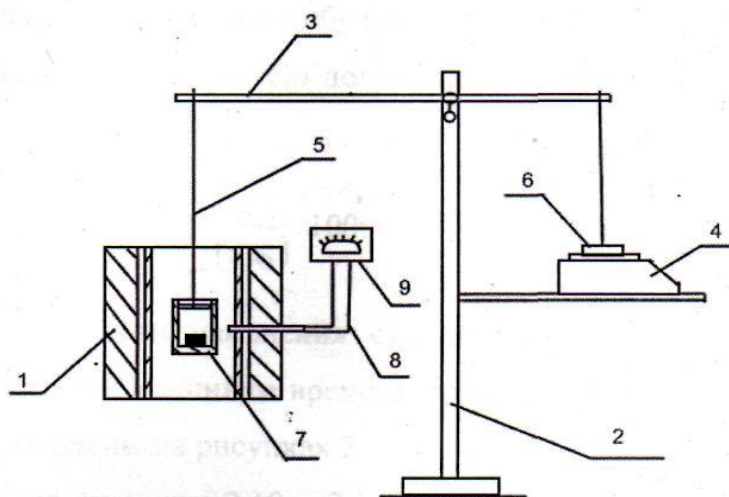
| наименование                     | Зола<br>$A^d$ | Летучие<br>$V^{daf}$ | Влага<br>$W^r$ | C    | Химический состав золы, % |                                |      |      |     |      |                   |
|----------------------------------|---------------|----------------------|----------------|------|---------------------------|--------------------------------|------|------|-----|------|-------------------|
|                                  |               |                      |                |      | SiO <sub>2</sub>          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | P   | S    | Fe <sub>общ</sub> |
| Уголь марки 2БПК(бурый)          | 7,7           | 48,5                 | 35,3           | 37,4 | 21,9                      | 5,4                            | 45,3 | 5,3  | 0,1 | -    | 2,3               |
| Уголь марки ДО (длиннопламенный) | 7,6           | 39,7                 | 15,4           | 46,9 | 54,3                      | 25,6                           | 4,6  | 1,72 | 1,0 | -    | 2,5               |
| Кокс НКМК                        | 11,2          | 1,8                  | 5              | 79   | 49                        | 28,5                           | 7,2  | 0,67 | -   | 12,3 |                   |

Для изучения кинетики восстановления кремния из кварцитов Антоновского месторождения с применением различных восстановительных смесей, приведенных в таблице 3, применялся метод непрерывного взвешивания компонентов в восстановительной атмосфере.

Таблица 3 – Восстановительные смеси

| Вид восстановителя | Соотношение |
|--------------------|-------------|
| Кокс+ДО            | 7:3         |
| Кокс+2БПК          | 7:3         |
| Кокс+ДО            | 1:1         |
| Кокс+2БПК          | 1:1         |

Данный метод позволяет оценить влияние типа применяемого восстановителя и температуры на скорость восстановления. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.



- 1 - печь Таммана; 2 - опорная стойка; 3 - коромысло;  
 4 - электронные весы непрерывного взвешивания CAS MWP-1500;  
 5 - специальная подвеска; 6 - противовес; 7 - графитовый тигель;  
 8 - термопара ВР 5/20; 9 - потенциометр 1111-63

Рисунок 1 – Установка для изучения кинетики восстановления руд



Графитовый тигель с навеской помещался в заранее разогретую до необходимой температуры электропечь сопротивления с графитовым нагревателем. На первом этапе эксперименты проводились при различной температуре 1673, 1773, 1873 К. С помощью подвески тигель подвешивался за рабочий конец разноплечевого коромысла таким образом, чтобы он не касался стенок нагревателя. На противоположный конец коромысла подвешивался контргруз так, чтобы уравновесить вес тигля с навеской кокса и кварцита, и, в тоже время, электронные весы, на которые опирается груз, должны находиться в нулевом положении и обеспечивать определенный ход весов для регистрации изменения массы навески с тиглем в процессе опыта. В процессе опыта массу тигля с его содержимым точно регистрировали через каждую минуту для построения кривых восстановления.

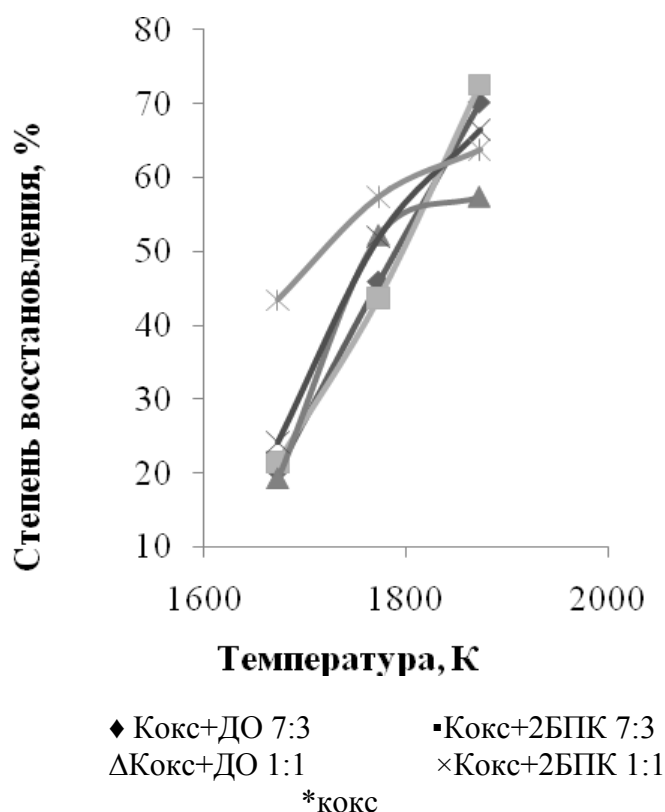


Рисунок 2 – Влияние продолжительности выдержки на степень восстановления кремния кварцитов Антоновского месторождения с различными восстановителями при температурах 1673К, 1773К, 1873К

Результаты исследования приведены на рисунке 2.

Из результатов исследования следует, что наибольшая степень восстановления кремния при применении смеси бурого угля (марки БПК) в соотношении с коксом 7:3.

## МОДИФИЦИРВАНИЕ СТАЛИ БАРИЙ- И СТРОНЦИЙ-СОДЕРЖАЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ

**Пятернин А.И., Искусных Д.С., Харитонов Д.С.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Дмитриенко В.И.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Для изучения особенностей взаимодействия шлаковых расплавов содержащих соединения бария и стронция с металлом, а также выявления факторов воздействия бария и стронция на свойства стали провели ряд лабораторных экспериментов. Целью экспериментов явилось моделирование обработки стали барий- стронций- содержащими материалами. Задача нашей работы – научиться работать с барий- стронций- содержащими материалами, разработать технологию плавки стали с целью улучшения качества за счет обработки барий- и стронций- содержащими материалами.

Методика экспериментов была следующей:

В алундовый тигель помещали металлическую шихту в количестве 130 – 160 грамм и добавляли 0,6 – 1,2 г кремнийсодержащего ферросплава. Кремний добавляли для раскисления металла в период расплавления. Примерный состав металлошихты представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Примерный состав металлошихты

| Массовая доля элементов, % |       |       |       |       |      |       |      |       |       |     |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-----|
| C                          | Ni    | Cu    | Mn    | Mo    | Si   | W     | V    | Al    | Cr    | Fe  |
| 0,217                      | 0,089 | 0,126 | 0,595 | 0,015 | 0,04 | 0,018 | 0,02 | 0,003 | 0,039 | ост |

В качестве кремнийсодержащего ферросплава применяли кристаллический кремний. С целью предотвращения растрескивания, алундовый тигель с металлической шихтой устанавливали в графитовый стакан. Затем графитовый стакан ставили в печь Таммана, предварительно разогретую до 1600°C.

Производили выдержку для расплавления металлошихты. После расплавления металлошихты и нагрева расплава до температуры эксперимента проводили дополнительное раскисление расплава кремнием. Затем делали присадку шлакообразующей смеси. Было опробовано 5 вариантов шлакообразующих смесей:

1. известь + порошок алюминия;
2. известь + порошок алюминия + оксид бария;
3. известь + порошок алюминия + карбонат стронция;
4. порошок алюминия + оксид бария + карбонат стронция;
5. известь + порошок алюминия + барий-стронциевый карбонатит.

Состав барий-стронциевого карбонатита представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав БСК-2 (ТУ 1717-001-75073896-2005)

| SiO <sub>2</sub> | BaO  | CaO  | SrO | MgO | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |
|------------------|------|------|-----|-----|------------------|-------------------|--------------------------------|-----|--------------------------------|------------------|-----------------|
| 24,8             | 16,0 | 21,5 | 5,5 | 0,9 | 3,0              | 1,5               | 4,0                            | 0,2 | 2,9                            | 0,9              | 18,0            |

Кристаллический кремний и затем шлакообразующую смесь через кварцевую трубку присаживали на поверхность тигля. Делали выдержку в течении 2-3 минут для нагрева и проплавления смеси. Далее в течении ~ 1 минуты перемешивали металл и шлак путем погружения в расплав деревянного прутка. После этого графитовый стакан с тиглем вынимали из печи и охлаждали на воздухе. Всего было проведено 12 лабораторных плавов.

Опытные образцы, после охлаждения до комнатной температуры, извлекали из тиглей, отделяли от шлака, готовили к анализу на содержание химических элементов. Для определения химического состава нижнюю часть образцов зачищали, выравнивали и на этой поверхности проводили съемку фотоэлектрическим методом на атомно-эмиссионном спектрометре ДФС-71 по ГОСТ 18895-97. Было отобрано шесть наиболее качественных образцов представленных в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав полученных образцов

| Образец | C     | Ni    | Cu    | Mn    | Cr    | Ti    | Mo    | Si    | W     | V     | Al    |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1       | 0,483 | 0,114 | 0,123 | 0,538 | 0,018 | 0,058 | 0,015 | 0,892 | 0,048 | 0,020 | 0,037 |
| 2       | 0,559 | 0,086 | 0,131 | 0,579 | 0,009 | 0,057 | 0,015 | 0,941 | 0,048 | 0,020 | 0,036 |
| 3       | 0,270 | 0,090 | 0,091 | 0,490 | 0,002 | -     | 0,014 | 0,798 | 0,047 | 0,020 | 0,007 |
| 5       | 0,481 | 0,098 | 0,139 | 0,565 | 0,023 | 0,055 | 0,015 | 1,027 | 0,048 | 0,022 | 0,010 |
| 7       | 0,492 | 0,096 | 0,132 | 0,530 | 0,004 | 0,058 | 0,017 | 1,358 | 0,020 | 0,020 | 0,034 |
| 9       | 0,546 | 0,088 | 0,151 | 0,511 | 0,014 | 0,056 | 0,017 | 1,238 | 0,021 | 0,021 | 0,015 |

После определения химического состава образцы готовили к металлографическому анализу. С этой целью их разрезали поперек в вертикальной плоскости. Поверхность разреза шлифовали. Оценку неметаллических включений производили на шлифах, приготовленных в продольном сечении образцов. Отклонений по неметаллическим включениям не обнаружено.

На этих же шлифах после травления определяли микроструктуру и получили следующее: образцы под № 1, 2, 5, 7, 9 имеют идентичную микроструктуру, а именно: пластинчатый перлит с выделениями феррита по границам зерен, и отдельными выделениями феррита внутри перлитных зерен. Ферритные выделения в микроструктуре имеют игольчатое строение.

В микроструктуре наблюдается разнотернистость. Имеются лишь незначительные отличия по величине зерна. Величина зерна оценивается от 5 и до крупнее 1 номера шкалы ГОСТ 5639-82 и определяется глубиной расположения слоев металла от поверхности образца.

Микроструктура образца №3 показала типичную видманштеттовой структуру, оцениваемой 3 баллом шкалы 4 ряда А ГОСТ 5640-68.

В верхней и нижней части образца в микроструктуре наблюдается разнотернистость. величина зерна оценивается 2 и крупнее 1 номером по шкале ГОСТ 5639-82.

В результате проведенного исследования, выявили, что обработка металла соединениями бария и стронция на формирование неметаллических включений влияния не оказывает. В то же время на структурообразование присутствие соединений бария и стронция оказывает заметное воздействие. Механизм этого воздействия в настоящее время неясен. Это требует проведение исследований на нанорурне.

УДК 669.046.587.004.14

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛАКОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ИХ УТИЛИЗАЦИИ**

**Кокорин П.О.**

**Научный руководитель: к.т.н. Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Производство черных металлов сопровождается образованием большого количества твердых отходов, в общем объеме которых до 80 % приходится на шлак и около 15 % - на пыль и шлам.

Как показывает изучение мирового опыта, решение проблем твердых отходов ведется как в направлении сокращения их образования, так и в направлении разработки технологий их переработки. Низкий удельный выход твердых отходов при высокой доле их переработки является одним из показателей эффективно работающего производства.

Учитывая масштабы затрат энергетических и сырьевых ресурсов в сталеплавильном производстве, существенного эффекта в ресурсосбережении можно достичь при вторичной переработке шлаков, основная масса которых в настоящее время накапливается в отвалах, занимая значительные площади и отрицательно влияя на экологическую обстановку в районах размещения металлургических предприятий. Наиболее сложная обстановка сложилась с переработкой сталеплавильных шлаков.

В 2010 г. в мире выплавлено более 1400 млн. т стали, при этом образовалось не менее 220 млн. т. конвертерного шлака, в котором по

различным данным [1-3] содержится 5-8 % металлического железа в виде корольков и мелких скрапин и до 3-4 % свободной неусвоившейся извести. Кроме конвертерных шлаков в сталеплавильном производстве при внепечной обработке жидкой стали образуется около 15-25 млн. т. в год ковшевых шлаков.

Сталеплавильные шлаки, образующиеся после окисления, обезуглероживания и десульфурации металла, значительно различаются по химическому составу, что затрудняет их дальнейшее использование. В тоже время на сегодняшний день известны технологии переработки, как жидких шлаков [4] текущего производства, так и твердых отвалных шлаков [5]. Для практической реализации известных технологических приемов переработки необходимо детальное изучение свойств шлаков, образующихся при сталеплавильном переделе.

В сталеплавильном производстве ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» ежегодно образуется более 1,3 млн. т. (185 кг на тонну стали) Содержание железа в шлаке в виде корольков- мелких капель, запутавшихся в шлаке около 4 % от веса шлака, т.е. около 33 тыс. т. При этом использование шлака в 2009 году составило 0,82 %, в том числе возврат скрапа в технологию выплавки стали – 0,8 % (6,656 тыс. т.), использование шлака в доменном процессе – 0,02 % (0,166 тыс. т.). Практически в полном объеме (99,18%) конвертерный шлак используется для отсыпки дамбы шламохранилища.

Для определения возможных технологических вариантов использования шлаков сталеплавильного производства ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» выполнено исследование шлаков, образующихся при выплавке и внепечной обработке стали в кислородно-конвертерном цехе №2. Целью исследования являлось определение количества железа и его оксидов в шлаках, образующихся при выплавке стали, внепечной обработке на установке доводки металла (УДМ) и агрегате ковш-печь (АКП).

На первом этапе исследования произвели измельчение исходного материала с использованием лабораторного истирателя до фракции 0,05 мм. Из измельченного материала массой 100 г. методами магнитной сепарации произвели разделение магнитной и немагнитной составляющих, после чего произвели взвешивание магнитной составляющей на весах VIBRA AF-R220CE. Результаты исследования приведены в таблице 1.

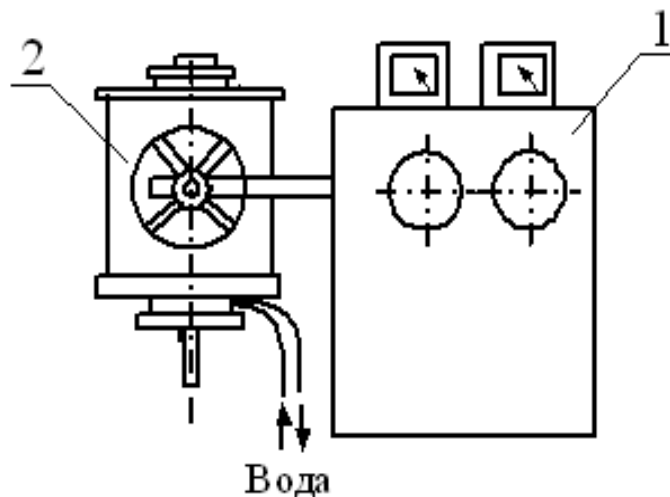
Таблица 1 – Результаты магнитной сепарации измельченного материала

|                                  | Вид шлака    |        |        |
|----------------------------------|--------------|--------|--------|
|                                  | Конвертерный | УДМ    | АКП    |
| Масса исходного материала, г.    | 100          |        |        |
| Масса магнитной составляющей, г. | 10,8909      | 37,917 | 9,8813 |

Из таблицы 1 видно, что наибольшее количество магнитного

материала получено из шлаков внепечной обработки стали на УДМ.

Дальнейшие исследования проводили при расплавлении навески шлака в печи Таммана (рисунок 1). Шлак помещали в алундовый тигель, который затем устанавливали в печь Таммана и нагревали до температуры 1600 °С.



1 – силовой трансформатор; 2 – печь Таммана

Рисунок 1 – Лабораторный комплекс, используемый для расплавления шлака

При расплавлении шлака металлические частицы, обладающие большей плотностью, скапливались в нижней части тигля. После расплавления шлака тигель оставляли в печи до полной кристаллизации расплава и затем производили отделение металлической части (в виде шариков металла) от неметаллической. Результаты исследования приведены в таблице 2.

|  | Вид шлака    |         |         |
|--|--------------|---------|---------|
|  | Конвертерный | УДМ     | АКП     |
| Масса исходного материала, г.            | 63,3332      | 67,8018 | 99,2875 |
| Масса металлической составляющей, г.     | 13,8214      | 2,2454  | -       |
| Количество металлической составляющей, % | 21,8         | 3,3     | -       |

При расплавлении 63,3332 г. конвертерного шлака было получено 13,8214 г. металла, что составляет 21,8 % от навески, а при расплавлении 67,8018 г. ковшевого шлака УДМ было получено 2,2454 г. металла, что составляет лишь 3,3 %. При расплавлении ковшевого шлака АКП металла не обнаружено.

Обобщая результаты исследований, можно сделать вывод, что, несмотря на большее содержание магнитной составляющей в ковшевых шлаках УДМ, при расплавлении количество металлической составляющей больше в шлаках конвертерного производства. Таким образом, вторичное

использование конвертерных шлаков позволит снизить сырьевые и энергетические затраты на производство металлопродукции.

#### Библиографический список

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали / В.А. Кудрин. – М.: «Мир», 2003. – 526 с.
2. Ли Т.С. Технология утилизации ковшевого шлака / Т.С. Ли, И.С. Чой, В.Е. Сон // Черные металлы, 2004. – Май. – С. 28-33.
3. Сорокин Ю.В. Состояние шлакопереработки и перспективы ее развития / Ю.В. Сорокин, Б.Л. Демин // Сталь. – 2010. – № 5. – С. 136-140.
4. Найдек В.Л. Рециркуляция шлака в технологических процессах производства стали / В.Л. Найдек, В.И. Курпас, С.Г. Мельник [и др.] // Сталь. – 2009. – № 8. – С. 27-31.
5. Панфилов М.И. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии / М.И. Панфилов, Я.Ш. Школьник, Н.В. Орининский [и др.] // - М.:Металлургия, 1987. – 238 с.

УДК 669.184

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ В КОНВЕРТЕРНЫХ ЦЕХАХ

**Горчаков А.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Уманский А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Одной из основных тенденций развития металлургической промышленности на современном этапе является перенос операций по доводке металла из плавильных агрегатов на специализированные установки по внепечной обработке стали, что объясняется большей производительностью и эффективностью проведения части технологических операций вне плавильного агрегата. В частности раскисление и легирование стали на таких установках позволяет значительно снизить потери легирующих элементов по отношению к обработке в плавильных агрегатах, возможность доводки по температуре позволяет избежать перегрева стали и связанного с ним дополнительного расхода тепло- и энергоносителей, а также синхронизировать работу плавильных агрегатов и установок непрерывного литья заготовок. Особо важное значение внепечная обработка стали приобретает с точки зрения удаления примесей, оказывающих отрицательное влияние на качество стали. В частности можно констатировать, что производство качественных и высококачественных сталей в соответствии с требованиями современных стандартов по

содержанию серы, газов, неметаллических включений невозможно без применения дополнительной внепечной обработки стали. Широкий спектр задач, решаемых при использовании технологии внепечной обработки стали, обуславливает разнообразие конструкций установок и агрегатов для ее проведения.

При выборе технологии и оборудования для внепечной обработки стали в качестве определяющих факторов выступают: тип плавильного агрегата, масса плавки, марочный сортамент выпускаемой продукции.

В частности, к особенностям организации внепечной обработки в конвертерных цехах можно отнести следующие моменты:

1. Более интенсивный ритм работы оборудования, что связано с меньшей продолжительностью плавки по сравнению с ДСП.

2. Обработка металла в ковшах большей емкости, в результате чего процессы перемешивания, нагрева и рафинирования металла имеют более инерционный характер.

Наиболее распространенным на сегодняшний день вариантом организации внепечной обработки стали является последовательная обработка металла на установке «ковш-печь» и вакууматоре. Использование комплекса оборудования в составе упомянутых агрегатов позволяет решать практически все задачи, которые ставятся перед внепечной обработкой стали (рисунок 1).

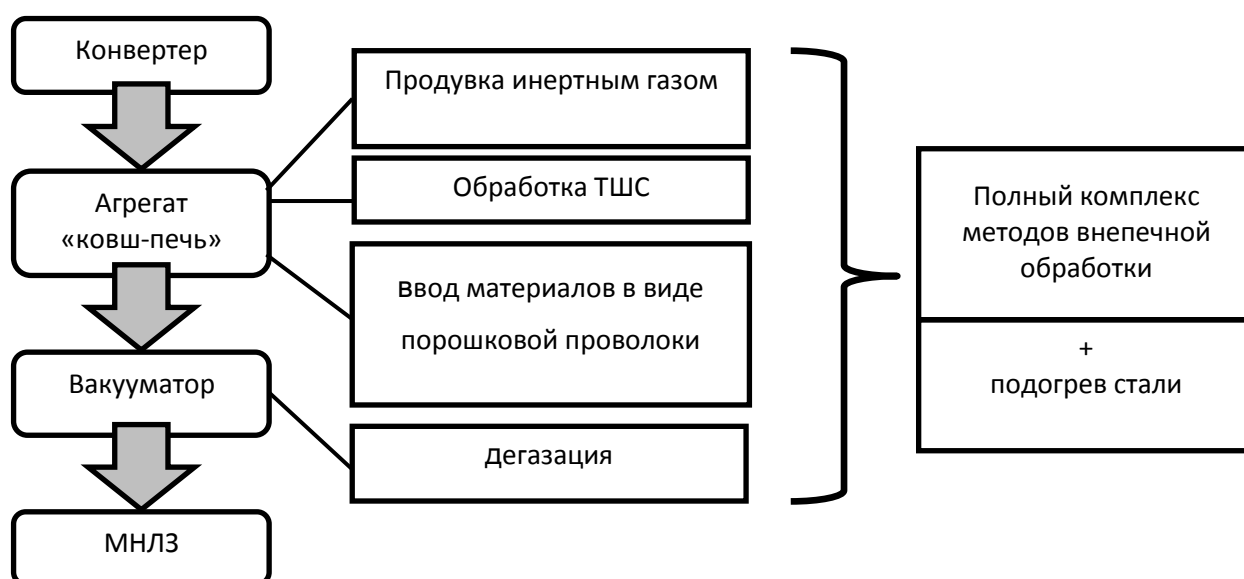


Рисунок 1 – Схема организации внепечной обработки стали в конвертерном цехе

В частности на агрегате «ковш-печь» за счет продувки инертным газом, обработки расплава шлакообразующими смесями и использования электродугового подогрева параллельно производится гомогенизация (усреднение) расплава по температуре и химическому составу, рафинирование стали от неметаллических включений и регулирование температуры расплава. Также при обработке на установках «ковш-печь»



проводят легирование стали, что обеспечивает снижение потерь легирующих элементов по сравнению с вводом ферросплавов в плавильный агрегат и ввод модификаторов для уменьшения количества и изменения морфологии неметаллических включений. Единственной задачей, которую не позволяет в полной мере решить обработка металла на агрегате «ковш-печь», является дегазация расплава (удаление кислорода, азота и водорода из стали). Хотя частичная дегазация достигается при продувке аргоном, однако остаточное содержание растворенных в стали газов после продувки не соответствует современным требованиям и не позволяет получать сталь с необходимыми механическими свойствами. Поэтому для снижения содержания газов до необходимого уровня применяют вакуумирование стали на установках различного типа: ковшевые, порционные, циркуляционные.

При выборе места расположения агрегатов внепечной обработки следует учитывать следующие основные моменты:

1. Доставка и загрузка ферросплавов в такие агрегаты не должна препятствовать технологическим операциям в плавильном агрегате;

2. Необходимы свободные площади для складирования сменного оборудования, расходных материалов агрегатов внепечной обработки (огнеупоры, электроды и т.д.) и оборудования для их ремонта;

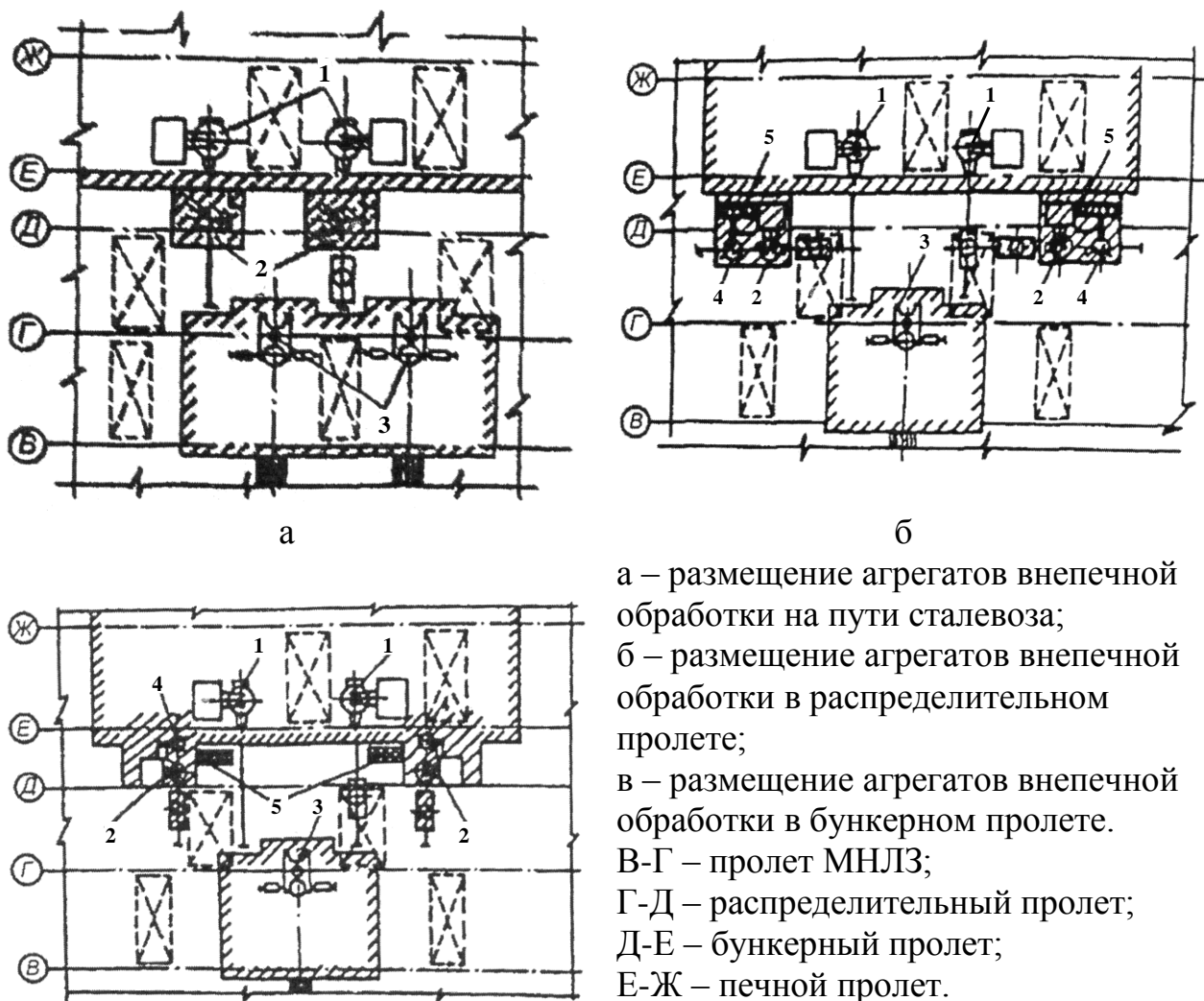
3. Для установок с электродуговым подогревом (типа «ковш-печь») размещение подстанции не должно препятствовать работе мостовых кранов;

4. Вакуумные установки должны располагаться на расстоянии не более 50 м от вакуумного насоса; для ковшевых вакууматоров обязательным условием является их расположение в зоне действия «тяжелых» кранов.

В целом можно выделить три варианта расположения установок для внепечной обработки в сталеплавильном цехе (рисунок 2): 1) на пути вывоза сталевоза из под плавильного агрегата; 2) в распределительном пролете; 3) в бункерном пролете.

С точки зрения синхронизации работы плавильного агрегата и установок внепечной обработки стали использование первого варианта расположения оборудования (рисунок 2а) целесообразно только при незначительной продолжительности операций внепечной обработки. Поэтому применительно к агрегатам комплексной обработки стали типа «ковш-печь» (с продолжительностью обработки стали соизмеримой со временем ее выплавки) такую схему размещения оборудования, как правило, не используют. Наиболее часто установки «ковш-печь» размещают в распределительном пролете (рисунок 2б), что позволяет обеспечить: 1) независимость работы плавильных агрегатов от работы агрегата «ковш-печь» – продолжительность внепечной обработки может превышать длительность плавки без ущерба для производительности цеха; 2) возможность использования установки «ковш-печь» в качестве буферной емкости для жидкой стали при аварийных ситуациях или простоях МНЛЗ. Также находит применение вариант размещения агрегатов «ковш-печь» в бункерном

пролете (рисунок 2в). Однако существенным недостатком такого варианта расположения оборудования является сложность проведения ремонтов из-за отсутствия в бункерном пролете мостовых кранов.



а

б

в

а – размещение агрегатов внепечной обработки на пути сталеваза;  
 б – размещение агрегатов внепечной обработки в распределительном пролете;  
 в – размещение агрегатов внепечной обработки в бункерном пролете.  
 В-Г – пролет МНЛЗ;  
 Г-Д – распределительный пролет;  
 Д-Е – бункерный пролет;  
 Е-Ж – печной пролет.

1 – конвертер; 2 – агрегат «ковш-печь»; 3 – МНЛЗ; 4 – вакууматор;  
 5 – расходные бункеры

Рисунок 2 – Варианты размещения агрегатов внепечной обработки стали в сталеплавильном цехе

Расположение установок для вакуумирования зависит от их типа. Так порционные и циркуляционные вакууматоры, как правило, располагаются на путях движения сталеваза к установке «ковш-печь» (рисунок 3), а вакууматоры ковшевого типа – в отдельном пролете.

- 1 – сталевоz;
- 2 – разливочный ковш;
- 3 – вакуумная камера;
- 4 – вакуумная система;
- 5 – механизм подъема вакуумной камеры;
- 6 – система подачи добавок

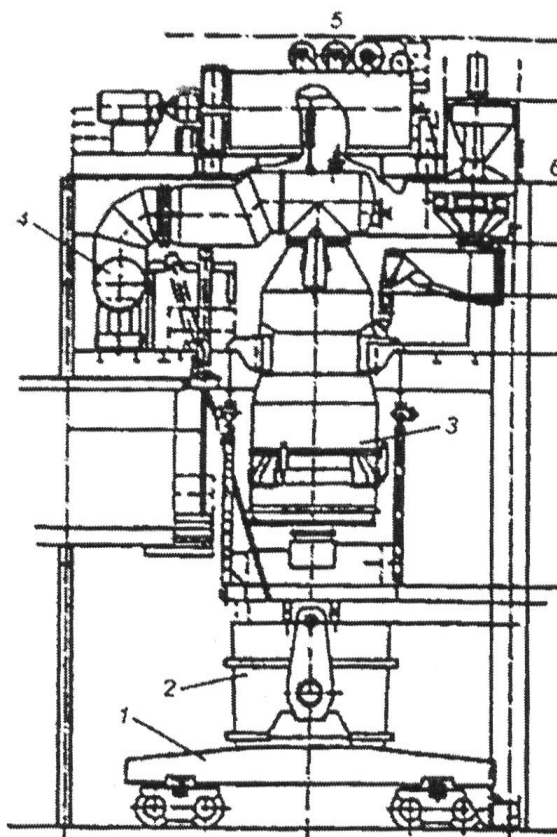


Рисунок 3 – Размещение установки для вакуумирования на путях сталевоза

В конвертерных цехах предпочтительнее использовать циркуляционные вакууматоры. Данный факт, прежде всего, связан с тем, что при обработке плавок большой массы в ковшевых вакууматорах интенсивной обработке подвергаются только верхние слои металла, а нижние слои под действием ферростатического давления практически не дегазируются. В циркуляционных вакууматорах в отличие от ковшевых интенсивной обработке подвергается весь находящийся в сталеразливочном ковше металл. Кроме того, циркуляционные вакууматоры предпочтительнее использовать при производстве сталей с особо низким содержанием углерода, что объясняется более высокой скоростью и полнотой процесса обезуглероживания. А получение сталей с низким и особо низким содержанием углерода технологически проще и эффективнее осуществимо в кислородных конвертерах.

Таким образом, можно сделать вывод, что в конвертерных цехах для внепечной обработки стали наиболее эффективным является использование комплекса оборудования в составе агрегата «ковш-печь» и циркуляционного вакууматора.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕЦИКЛИНГЕ АЛЮМИНИЯ**

**Реутов А.С., Степкин Д.В.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Одной из основных мировых тенденций в развитии рециклинга алюминия является расширение из года в год объемов применения вторичного алюминия, который все более активно заменяет в изделиях первичный. Но такая замена стала возможной только потому, что качество рециклированного алюминия во многих случаях уже не уступает первичному металлу, полученному из руды. По существу, все чаще и чаще термины «первичный» или «вторичный» начинают относиться к источнику сырья, а не к уровню качественных характеристик сплава. Все это явилось результатом технологического прорыва в процессах подготовки скрапа, плавления, обработки расплава и разлива, произошедшего за последние десять лет. В отечественном производстве вторичного алюминия эти новации только начинают применяться.

Цель доклада - аналитический анализ существующих высоких технологий в производстве вторичного алюминия. Перспективы их применения в отечественной металлургии.

Рассмотрим возможности некоторых новых технологий для российского производства вторичного алюминия, которые могут быть полезны для его модернизации. Часть этих технологий успешно применяется в рециклинге за рубежом и уже начинает приходить на российские заводы. Другие технологии используются в металлургии первичных сплавов и могут дать положительный эффект и в производстве вторичных. От традиционных технологий их отличают способы и величины энергии, передаваемой металлу. К таким технологиям относятся воздействия электромагнитными полями, рентгеновскими лучами, лазерным излучением, плазмой и ультразвуком.

Использование электромагнитного поля для плавки металла известно давно. Новым аспектом в его применении, получающим все более широкое распространение в последние годы, является перемешивание расплава с целью интенсификации тепло- и массообменных процессов в пламенных печах и безокислительного плавления (точнее, растворения) легковесной шихты в потоке горячего металла. Это позволяет не только существенно увеличить производительность печей, уменьшить расход топлива, но и повысить степень извлечения металла и его качество. Еще одна возможность применения электромагнитного поля — это рафинирование расплава от неэлектропроводных включений. Принцип удаления твердых металлических включений из алюминиевого расплава с помощью электромагнитных сил,

как бы «утяжеляющих» жидкий металл, достаточно известен. Сорок лет тому назад он был подтвержден в исследованиях ВИЛСа и Института проблем литья (ныне ФТИМС НАН Украины). Но тогда в промышленных условиях не удалось обеспечить стабильность результатов из-за влияния краевых эффектов. Сейчас эти работы достаточно интенсивно ведутся в Шанхайском университете в Китае, где, кажется, нашли решение этой проблемы. Возможно, уже в ближайшие годы эта экологически чистая технология найдет промышленное применение [1].

Новым процессом, использующим воздействие электромагнитного поля, является производство точных отливок или деталей путем формования металла с тиксотропной структурой в твердожидком состоянии. Отличие такой структуры от традиционной дендритной состоит в форме зерен.

Здесь начинают применяться две технологии. Первая под названием «VelvetHow casting» разработана французской компанией Pechiney Aluminium Engineering (ныне Novelis) и состоит в получении в слитках непрерывного литья недендритной структуры за счет электромагнитного перемешивания в процессе кристаллизации. Последующий нагрев заготовок из этих слитков до температуры твердожидкого состояния позволяет при минимальном сопротивлении деформации получать точные тонкостенные детали в штампах или формах. Вторая технология разработана японской компанией UBE Industries Ltd и заключается в контролируемом охлаждении расплава в высокочастотном электромагнитном поле до получения в структуре 40—50 % доли жидкой фазы. Далее заготовка передается в машину литья под давлением. Одно из главных преимуществ процесса — отсутствие пористости в металле, что позволяет вести в последующем термообработку и получать уровень свойств, приближающийся к деформированному металлу. Исследования в Австрийском исследовательском центре по изучению легких сплавов в Рансхофене показали возможность применения технологии New Rheocasting Process для производства высококачественных точных отливок из вторичных сплавов.

Следует отметить и еще один момент. Высокие технологии открывают большие возможности для реализации автоматизированных процессов сортировки вторичного сырья. Рассмотрим в качестве примера схему процесса электропневматической сепарации алюминия из бытовых отходов, разработанного американской компанией Magnetic Separations Systems, Inc.

Отходы, прошедшие предварительно магнитную сепарацию, но содержащие немагнитный металл (преимущественно это алюминиевый скрап в виде банок, баллончиков, тубиков, колпачков, крышек, картонной и бумажной упаковки с фольгой и т. п.), перемещаются по вибрационному желобу. Проходя через зону электронных датчиков вихревых токов, металл вызывает соответствующий массе куска импульс воздушного потока, отделяющий его от остальных отходов. Степень извлечения алюминия превышает 98 % при производительности установок 1—2 т/ч. В мире уже находятся в эксплуатации 25 таких установок. Их применение перспективно

и в российских условиях. Например, по оценкам специалистов, содержание мелкого алюминиевого скрапа от упаковки в твердых бытовых отходах, вывозимых для захоронения на подмосковные полигоны, находится в пределах 0,2—0,5 %. А если учесть, что в стране ежегодно такого мусора вывозится около 40 млн. т, то становится понятным: большая часть использованной алюминиевой упаковки у нас пока теряется.

Рентгеновские лучи для сухой механической сортировки алюминия из вторичных материалов успешно применяет немецкая компания Separation Systems Engineering GmbH. Рентгеновские лучи используют и для создания портативного контрольного оборудования для быстрого и точного анализа состава скрапа.

Что касается лазерного излучения, то сейчас в США и Германии работают две пилотные установки для разделения алюминиевого скрапа на литейные и деформируемые сплавы и отделения алюминия от скрапа из алюминиевых сплавов, использующие оптические квантовые генераторы. Установки разработаны американской компанией Huron Valley Steel Corporation. Другое направление применения лазерного излучения — контроль уровня и расхода жидкого металла в процессах разлива. Оно получает все более широкое распространение. Сейчас в мире насчитывается примерно 1000 лазерных датчиков, работающих в производстве первичного алюминия, при литье слитков, катанки и полос из алюминиевых сплавов, а также в процессах разлива вторичных алюминиевых сплавов. Разработкой таких систем занимается ряд компаний как в Америке, так и в Европе. Лазерные датчики уровня обладают рядом несомненных преимуществ. Среди них главные — высокая точность, неприхотливость к условиям работы и безопасность. Они позволяют сократить трудозатраты и являются основой для автоматизации процессов разлива [1].

Еще одно из направлений применения высоких технологий в рециклинге — использование низкотемпературной плазмы. Это — ионизированный газ (как правило, аргон или азот) с одинаковой концентрацией положительных и отрицательных зарядов. Ее отличия — температура, достигающая 15 000 °С, и отсутствие кислорода — позволяют создать идеальные условия для извлечения алюминия из упаковочных материалов, где он применяется в виде тонкой фольги, соединенной с бумагой, картоном, пластмассами. Это доказали семилетние исследования, проведенные в Бразилии компаниями TSL Ambiental, Alcoa Alumínio S A. и университетом в Сан-Паулу. В результате была создана и пущена в эксплуатацию на заводе компании Alcoa Alumínio SA в Бразилии первая в мире плазменная установка для извлечения алюминия из упаковочных материалов. Она перерабатывает 32 тыс. т упаковочных (в основном композиции алюминий—пластик) материалов и извлекает при этом 8 тыс. т алюминия, который возвращается в производство фольги. Раньше подобные материалы сжигались с КПД 20 % и значительными выделениями диоксинов и фуранов.

Как показывают результаты исследований, проведенных в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины, использование в процессе рафинирования расплава плазмы, обладающей повышенным химическим потенциалом в пограничном слое, высокой энергоемкостью и теплопроводностью, позволяет существенно улучшить качество металла, получаемого из вторичного сырья. В зоне внедрения плазменной струи температура металла возрастает на 400—600 °С по отношению к среднemasсовой температуре ванны. По сравнению с продувкой аргоном заметно увеличивается интенсивность массообменных процессов и степень удаления водорода. Под высокотемпературным воздействием плазменной струи и конденсации в ванне испарившихся компонентов сплава в 2—2,5 раза уменьшаются размеры микрогруппировок в расплаве и интерметаллидных частиц, что снижает негативное воздействие «наследственности» шихтовых материалов на структуру и свойства отливок, обеспечивая примерно двукратное возрастание пластичности металла [1].

Для рециклинга алюминия перспективно также и применение ультразвука. Это упругие, распространяющиеся в среде колебания с частотой более 16 кГц. Многолетние исследования, проводимые в ВИЛСе, позволили раскрыть закономерности их воздействия на расплав и успешно применить их в металлургии легких сплавов. Оказалось, что после достижения пороговой величины интенсивности ультразвука в 2—5 Вт/см<sup>2</sup> при частотах 18—20 кГц и амплитуде колебаний излучателя 10—15 мкм дальнейшее повышение мощности обработки ведет к измельчению литого зерна в алюминиевых сплавах и дегазации расплава. При интенсивности ультразвука 10—20 Вт/см<sup>2</sup> начинается процесс развитой кавитации в жидком металле. Размер литого зерна становится равным размеру дендритной ячейки. Получается предельное для данных условий охлаждения литое зерно, не имеющее дендритного строения, так называемая недендритная структура. Ее образование обусловлено активацией ультразвуковыми колебаниями в режиме развитой кавитации громадного числа частиц примесей в расплаве, которые становятся зародышами кристаллизации зерен. При этом их возникает так много, что каждое зерно успевает вырасти только в пределах дендритной ветви первого порядка. Такое измельченное зерно позволяет повысить пластичность металла в литом состоянии в 2 раза и устраняет образование трещин при литье крупногабаритных слитков, например из сплавов серии системы Al—Zn—Cu—Mg. В рециклинге алюминия эта технология может быть успешно применена при литье катанки из малопластичных сплавов. Кроме того, недендритная структура позволит, как и рассмотренная ранее тиксотропная структура, вести процесс формования точных изделий из вторичных сплавов в твердожидком состоянии [1].

Помимо новых технологий, связанных с высокоэнергетическим воздействием на металл, в рециклинге алюминия перспективно применение и других технологий, среди которых следует отметить процессы

высокотемпературной обработки и регламентированного отвода тепла (например, при закалке из жидкого состояния), влияющие на морфологию фазового состава и свойства продукта. К ним можно отнести и процессы введения в металл нетрадиционных добавок (газообразователей при получении пенометалла или частиц карбидов и оксидов — в случае производства композиционных материалов с алюминиевой матрицей).

Заключение: В целом можно отметить, что применение новых технологий способствует повышению извлечения металла из скрапа, экономии энергии, снижению трудозатрат, увеличению добавленной стоимости продукции, а также открывает возможности производства новой продукции из вторичного алюминиевого сырья. Отсюда и важность их применения для модернизации производства вторичного алюминия в России, которое должно явиться важным шагом при решении проблем вторичной металлургии в предстоящем десятилетии.

#### Библиографический список

1. Макаров Г.С. Высокие технологии в рециклинге алюминия: возможности и перспективы // Цветные металлы. – 2006. - №8. – С. 112 – 117.

УДК 622.6

## ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА

Душин Е.С.

Научный руководитель: к.т.н., профессор Минцис М.Я.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Расплав в шахте алюминиевого электролизера состоит из трех компонентов:

- расплавленного алюминия;
- расплавленного электролита;
- застывшего электролита, который принято называть настылью.

Настыль образуется на бортах и в углах шахты электролизера, так как в этих местах происходит наибольшая отдача тепла от расплава в окружающую среду. Конфигурация этих настылей и образует форму рабочего пространства (ФРП) алюминиевого электролизера [1].

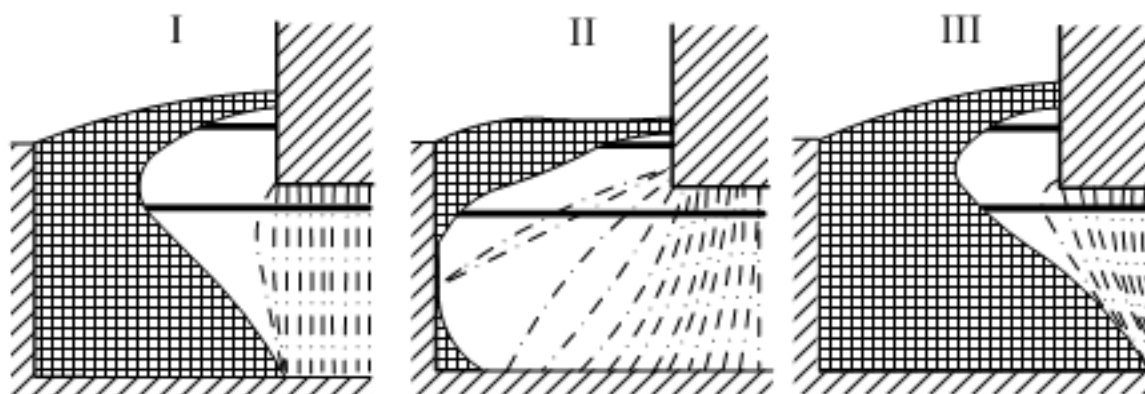
Форма рабочего пространства играет большую роль в технологии электролиза, так как закрывает углы шахты, предотвращая протекание расплава в этих местах подины. Кроме того, она влияет на распределение тока в расплаве и подине. Оптимальная форма рабочего пространства должна отвечать следующим требованиям:

- обязательное наличие горнисажей в зоне электролита. Это



необходимо для предотвращения непосредственного контакта электролита с бортовой футеровкой, так как это может привести к выходу ее из строя;

– крутопадающая настыль в зоне расплавленного металла, которая является предпосылкой чистоты подавляющей площади подины и снижения потерь энергии в ней. С точки зрения распределения тока в расплаве желательно, чтобы токопроводящая часть подины находилась под проекцией анода на нее. В этом случае снижается вероятность появления горизонтальных составляющих тока в металле, которые при взаимодействии с магнитным полем образуют электромагнитные силы, негативно влияющие на работу электролизера (рисунок 1);

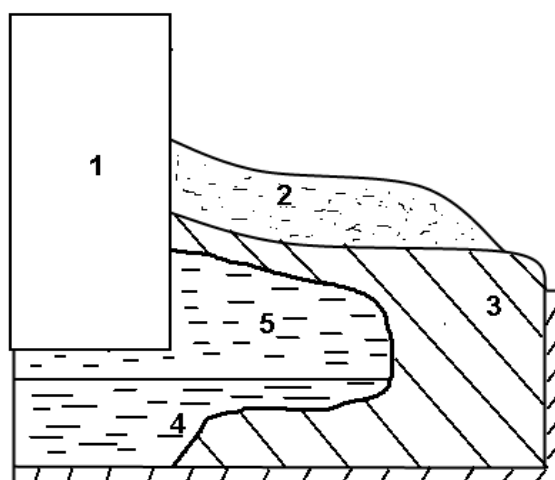


I – нормальная ФРП; II – отсутствие настыли; III – мощная настыль, уходящая под анод

Рисунок 1 – Варианты формы рабочего пространства

– отсутствие осадка и настыли на подине под анодом, преследует те же цели, что и крутопадающая настыль.

Таким образом, оптимальная ФРП алюминиевого электролизера, отвечающая вышеуказанным требованиям, приведена на рисунке 2.



1 – анод; 2 – глинозем; 3 – настыль; 4 – металл; 5 – электролит

Рисунок 2 – Оптимальная форма рабочего пространства алюминиевого электролизера

Однако, проведенный анализ показал, что практически на всех электролизерах Содерберга с боковым и верхним подводом тока, которые работают на НКАЗе, имеют не оптимальную ФРП (рисунок 3).

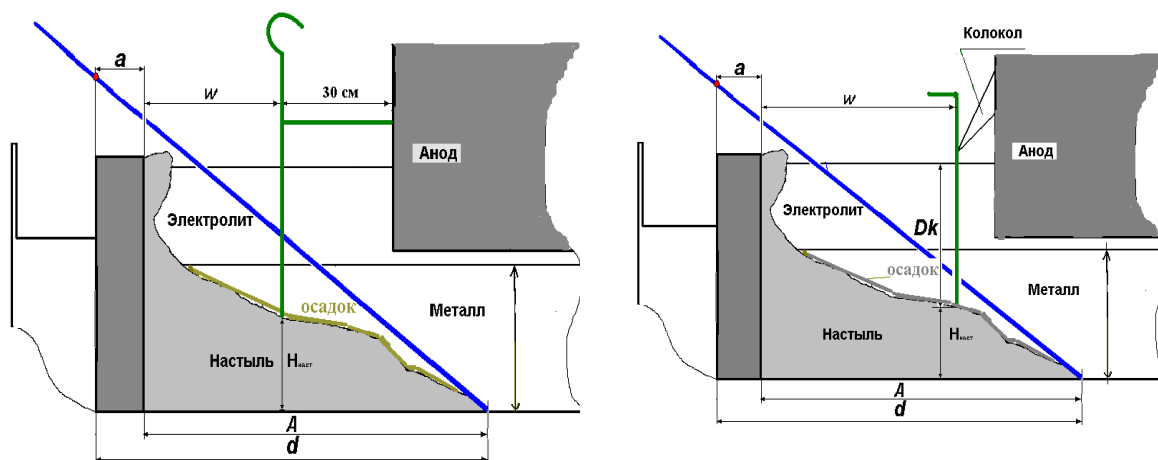


Рисунок 3 – Форма рабочего пространства на электролизерах Содерберга с боковым и верхним подводом тока

На этих электролизерах уходящая под анод настыль снижает рабочую поверхность подины, увеличивая температуру и плотность тока в ней и, как следствие, потери напряжения в подине. Нарушение вертикального распределения тока в металле приводит к изменению магнитного поля в расплаве, искажению формы зеркала металла и возникновению циркуляции расплава. Кроме того, масса этой мощной настыли, достигая 35-45 % от веса электролита, увеличивает незавершенное производство, негативно влияя на экономику производства. Ликвидация этой части подовой настыли, осуществляется вручную – это физически очень тяжелая операция.

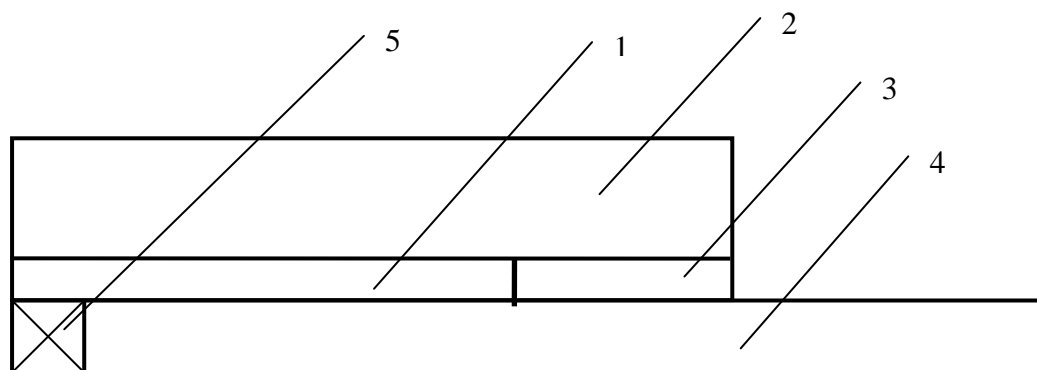
Целью моего сообщения является определение причин формирования такой формы рабочего пространства и путей ее оптимизации.

Основной причиной ухода подовой настыли под подошву анода, является повышенный отбор тепла блюмсом с этой части подины. Действительно, расстояние от поверхности подины до тела блюмса составляет всего 250 мм, а теплопроводность стали в 80 – 90 раз выше, чем у подовых блоков. Свидетельством повышенного отбора тепла является температура той части блюмса, которая выступает за пределы катодного кожуха – она достигает 200-250 °С, доходя иногда более чем до 300 °С.

Для ликвидации поданодной части настыли необходимо уменьшить отбор тепла от подины в промежутке между бортом шахты и проекцией анода на подину. Тогда температура подины в этой области подины повысится, благодаря чему уменьшится вероятность образования подовой настыли.

Одним из возможных решений данной задачи является теплоизоляция части блюмса от подового блока, расположенного на участке от проекции

анода на подину до его выхода из катодного кожуха. В качестве теплоизолирующего материала может использоваться огнеупорный бетон (рисунок 4).



1 – чугунная заливка; 2 – блок; 3 – жаропрочный бетон; 4 – блюмс; 5 - потай

Рисунок 4 – Схема катодного блока с частичной теплоизоляцией блюмса

Теплоизоляция блюмса для такой секции может производиться в процессе заливки блюмса в катодный блок.

В том случае, если используется подина, в которой устанавливаются длинные катодные секции (рисунок 5), рекомендуется выполнять ее следующим образом [2].

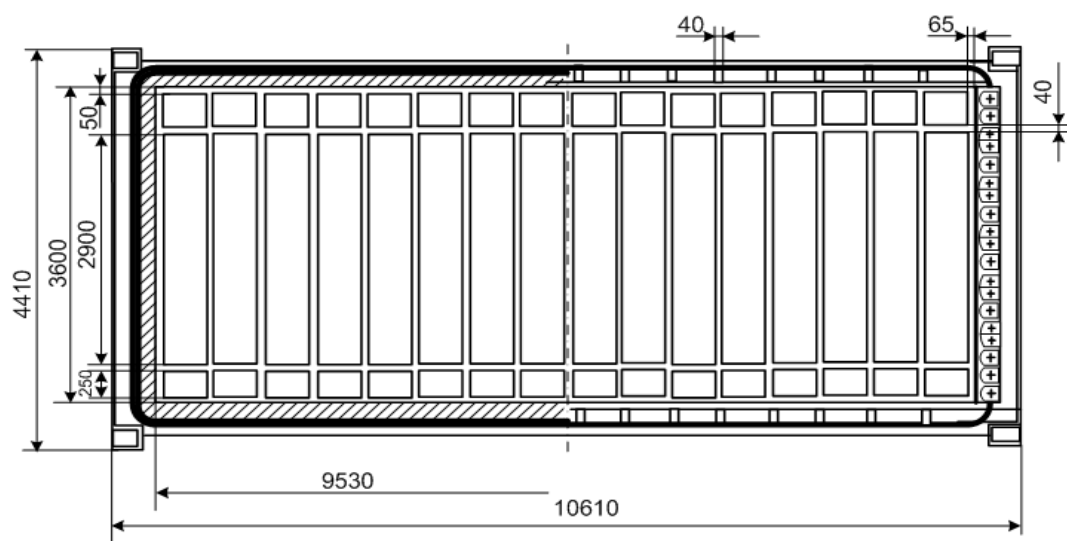


Рисунок 5 – Предлагаемая конструкция подины типа С-8БМ

Рекомендуется применять основные блоки равные по длине ширине анода (анодного массива), при этом заделка блюмса в эти блоки выполняется обычным способом – чугуном или электродной массой. Малые блоки, расположенные по обе стороны от основного блока, предлагается устанавливать непосредственно на монтируемом электролизере. Для этого часть огнеупорного бетона может быть помещена на верхнюю плоскость блюмса, а другая часть – внутрь паза. Эту операцию следует предварительно

отработать.

Не исключено, что предлагаемая конструкция теплоизоляции блюмса окажется недостаточной. В этом случае предлагается выступающую из катодного кожуха часть блюмса дополнительно утеплить путем покраски раствором цементного молока, или обернуть ее стеклотканью, смоченной в жидком стекле.

Предлагаемая конструкция подины электролизера позволит:

- снизить падение напряжения в подине, в том числе и в блюмсе;
- увеличить объем электролита, в котором нуждаются современные высоко интенсифицированные электролизеры;
- оптимизировать магнитное поле в расплаве, что может увеличить выход по току.

Полезно было бы построить опытный электролизер с целью отработки предлагаемой конструкции подины, а также для уточнения теплового баланса электролизера. Дело в том, что уменьшение отбора тепла от подины через блюмсы, вероятно, потребует увеличения отбора тепла через другие ее части. Нам представляется полезным для этого уменьшить толщину бортовых блоков, увеличив отбор тепла через борта ванны [3].

Предлагаемая небольшая реконструкция подины электролизера любого типа не требует дополнительных затрат, а ее технико-экономическая эффективность не вызывает сомнений.

#### Библиографический список

1. Минцис М.Я. Электрометаллургия алюминия / М.Я. Минцис, П.В. Поляков, Г.А. Сиразутдинов. – Новосибирск, Наука, 2001. – 368 с.
2. Галевский Г.В. Metallургия алюминия. Электролизеры с анодом Содерберга и их модернизация / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – М.: Флинта-Наука, 2008. – 238 с.
3. Галевский Г.В. Metallургия алюминия. Справочник по технологическим и конструктивным измерениям и расчетам / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – Новокузнецк, СибГИУ, 2010. – 234 с.

УДК 622.6

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА УДЕЛЬНОЙ МАССЫ ЭЛЕКТРОЛИТА В АЛЮМИНИЕВОМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ

**Флейглер С.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., профессор Минцис М.Я.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Как известно, единственным промышленным способом получения

алюминия, является электролиз оксида алюминия – глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), который растворен в электролите. Основой электролита является криолит ( $\text{NaF}\cdot\text{AlF}_3$ ), а также небольшие добавки других фторидов ( $\text{AlF}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$  и др.). Поэтому определение необходимого количества электролита, который необходим для нормального технологического режима электролизера, является важной практической задачей.

Однако в учебниках, учебных пособиях и в научно-производственных изданиях не приводится методика определения этого важного, на мой взгляд, технологического параметра. Поэтому мой доклад и посвящен разработке методики определения этого параметра.

Понятно, что чем больше сила тока на серии электролиза, тем больше расходуется глинозема в единицу времени. Поэтому удобнее пользоваться удельным значением этого параметра ( $q_{\Gamma}$ ), то есть определить потребность в глиноземе в расчете на 1 кА в течение одного часа ( $\text{кг/кА}\cdot\text{ч}$ ) [1].

Для этого определим удельную производительность электролизера ( $q_a$ ,  $\text{кг/кА}\cdot\text{ч}$ ) за время  $t = 1$  ч, при силе тока  $I_c = 1$  кА, и выходе по току  $\eta = 0,9$ :

$$q_a = 0,3354 \cdot I_c \cdot t \cdot \eta = 0,3354 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,30 \text{ кг/кА}\cdot\text{ч}.$$

Тогда удельная потребность в глиноземе ( $q_{\Gamma}$ ) для производства ( $q_a$ ) алюминия составит:

$$q_{\Gamma} = 1,889 \cdot 0,30 = 0,567 \text{ кг/кА}\cdot\text{ч}.$$

Растворимость глинозема является равновесным физико-химическим свойством электролита, и она практически не связана с качеством глинозема, а определяется, главным образом, составом и температурой электролита [2]. В промышленных электролитах концентрация глинозема в нем редко превышает ( $C_{\text{макс}}$ ) 6-7 %. Однако, растворенный в электролите глинозем не может быть выработан полностью, так как при снижении его концентрации ( $C_{\text{мин}}$ ) до 1,5-2 % возникает анодный эффект. Следовательно, максимальное количество глинозема, которое может быть выработано, зависит от разности значений  $\Delta C$

$$\Delta C = C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}}$$

Практически значение  $\Delta C$  находится на уровне 3-3,5 % (0,03-0,035) от массы электролита. Тогда, удельная масса электролита ( $q_3$ ), необходимая для растворения  $q_{\Gamma}$  глинозема, при принятых условиях, составит:

$$q_3 = q_{\Gamma} / \Delta C = 0,567 / 0,03; 0,035 = 18,9 - 16,2 \text{ (в среднем } 17,5) \text{ кг/кА}\cdot\text{ч}.$$

Следовательно, зная силу тока серии и периодичность ввода глинозема в электролит, можно определить необходимое количество электролита в электролизере.

Например, для электролизера типа С-8БМ при силе тока 170 кА и при обработке электролизера один раз в 3 часа масса электролита в шахте ( $M_3$ ) составит:

$$M_3 = 17,5 \cdot 170 \cdot 3 = 8925 \text{ кг}.$$

Для определения количества электролита в действующем электролизере рекомендуется воспользоваться следующим расчетом, (рисунок 1).

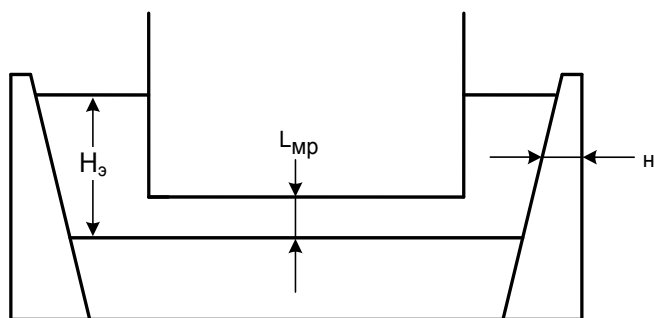


Рисунок 1 – Схема шахты электролизера

Объем электролита  $V_э$  (дм<sup>3</sup>) в шахте определяется выражением:

$$V_э = (S_p \cdot H_э) - S_a \cdot (H_э - L_{мз})$$

где:  $S_p$  – поверхность расплава, дм<sup>2</sup>;

$H_э$  – высота столба электролита над металлом, дм;

$S_a$  – площадь анода, дм<sup>2</sup>;

$L_{мз}$  – междуполусное расстояние, дм.

Площадь расплава  $S_p$  с учетом средней толщины бортовой настыли  $n$  (дм), определяется следующим выражением:

$$S_p = (L_n - 2n) \cdot (B_n - 2n)$$

где:  $L_n$  и  $B_n$  – длина и ширина подины, дм.

Определение площади анода  $S_a$  (дм<sup>2</sup>) для любого типа электролизера не представляет затруднений. Тогда масса электролита  $M_э$  (кг) в шахте равна произведению его объема  $V_э$  (дм<sup>3</sup>) на плотность электролита  $d_э$ , которая составляет около 2,08 кг/дм<sup>3</sup>:

$$M_э = V_э \cdot d_э$$

В таблице приведена масса электролита для электролизера типа С-8БМ при различных его уровнях в шахте и при разной толщине бортовой настыли.

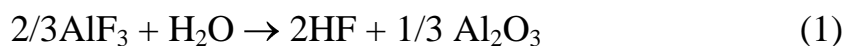
Таблица – Масса электролита (кг) в шахте электролизера С–8БМ

| Столб электролита, см | Средняя толщина настыли, см. |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                       | 4,0                          | 5,0  | 6,0  | 7,0  | 8,0  | 9,0  | 10,0 |
| 12,0                  | 5940                         | 5665 | 5598 | 5530 | 5465 | 5399 | 5332 |
| 14,0                  | 6512                         | 6437 | 6357 | 6278 | 6202 | 6126 | 6047 |
| 16,0                  | 7087                         | 7000 | 6910 | 6820 | 6733 | 6646 | 6555 |
| 18,0                  | 7659                         | 7562 | 7460 | 7359 | 7261 | 7163 | 7062 |
| 20,0                  | 8233                         | 8124 | 8011 | 7898 | 7789 | 7681 | 7568 |
| 22,0                  | 8805                         | 8686 | 8561 | 8437 | 8318 | 8198 | 8074 |

Понятно, что при использовании системы АПГ снижается потребность электролизера в объеме электролита, так как питание глиноземом осуществляется не один раз в три часа, а через 10-20 мин. Поэтому при внедрении систем АПГ имеется возможность уменьшить необходимый объем электролита в 10 – 20 раз. Сделать это уменьшением высоты столба электролита невозможно т.к. уменьшение столба с 18 до 12 см снизит необходимый объем электролита только на 25 %.

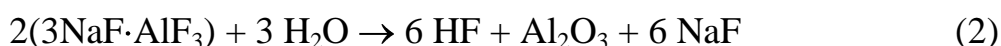
Значительно более удобно уменьшить ширину шахты при проведении капремонта К сожалению, насколько мне известно, при внедрении систем АПГ на КРАЗе размеры катодного устройства не изменялись. Поэтому на КРАЗе объем электролита превышает технологически необходимую величину, что ведет к ряду последствий и, в том числе, к повышенным потерям фтора.

Рассматривая методику определения удельной массы электролита, следует отметить, что этот вопрос тесно связан с экологией производства. Известно, что основной причиной выделения фтора является реакция гидролиза:



Начинается реакция выше 350<sup>0</sup>С и в равновесных условиях при температуре выше 960<sup>0</sup>С (температура процесса электролиза) протекает практически полностью. Условная константа равновесия указанной реакции  $K_p = P_{\text{HF}}^2 / P_{\text{H}_2\text{O}}$  составляет по разным данным от 10 до 15, следовательно, при наличии достаточного количества влаги из 1 кг технического фторида алюминия может образоваться 0,6 кг фторида водорода. Однако на практике условия равновесия не соблюдаются, и фторид водорода выделяется в меньших количествах.

Криолит подвержен гидролизу в меньшей степени (2).



Константа равновесия этой реакции при температуре 1010<sup>0</sup>С составляет лишь  $1,1 \cdot 10^{-2}$ . Фториды натрия и кальция в условиях, отвечающих процессу электролиза, гидролизу не подвержены.

Используя выше приведенную методику, проведенные расчеты удельной массы электролита для электролизеров типа С-8БМ и РА-300 (установленного на ХАЗе) показали, что она составила 40,86 и 28,16 кг/кА. Таким образом, у электролизера ХАЗа, оборудованного системой АПГ, с расстоянием между анодным массивом и бортом шахты 350 мм, удельная масса электролита составляет 28,16 кг, то есть приблизительно в  $40,86 / 28,16 = 1,45$  раза меньше, чем на электролизере типа С8-БМ.

Это положение подтверждается отчетными данными о расходе фторида алюминия ( $\text{AlF}_3$ ), который, являясь основным источником эмиссии фтора в атмосферу, составляет на НКАЗе около 40 кг/т, а на ХАЗе – только около 18 кг/т Al. Эти данные в комментариях не нуждаются.

Следует отметить, что внедрение системы АПГ на электролизер типа

С8БМ, позволяет уменьшить объем электролита за счет уменьшения расстояние от анода до борта, что приведет к сокращению ширины катодного устройства, то есть – уменьшает его материалоемкость, снижает затраты на капитальный ремонт и уменьшает образование отработанной футеровки, которая вывозится на полигон, где негативно воздействует на поверхностные и подземные водоисточники.

По ориентировочным расчетам снижение массы катодного устройства на электролизер С8-БМ достигает 25 %, а снижение стоимости капремонта не менее чем на 0,7 млн. руб.

#### Библиографический список

1. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Электролизеры с анодом Содерберга и их модернизация / Г.В.Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – М.: Флинта-Наука, 2008. – 238 с.
2. Исаева Л.А. Глинозем в производстве алюминия электролизом / Л.А. Исаева, П.В. Поляков. – Краснотурьинск, ИД БАЗа, 2000. – 198 с.

УДК 622.6

### **РЕЦИКЛИНГ АЛЮМИНИЯ В РОССИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Жемчугов А.В., Масленников А.С.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Цель работы – изучить состояние производства вторичного алюминия в России, выявить в каком объеме реализуются данные технологии и каковы преимущества рециклинга алюминия.

На сегодняшний день этот вопрос очень актуален, так как в России и во всем мире используется большое количество алюминия. Этот металл является очень потребляемым из-за своих физико-химических свойств, применяемым во многих отраслях промышленности, поэтому его производство увеличивается с каждым годом. Так как производство первичного алюминия является очень дорогостоящим процессом и не всегда есть необходимость в использовании алюминия высокой чистоты, поэтому и были разработаны технологии рециклинга алюминия.

Увеличение производства вторичного алюминия связано с:

- созданием, развитием и освоением современных технологий переработки лома и отходов, обеспечивающих получение полноценного металла, востребованного различными отраслями;
- благоприятными технико-экономическими показателями производства вторичного алюминия;



– возможностью организации экологически безопасного производства.

Главными преимуществами рециклинга алюминия являются небольшие затраты энергии и сохранение для будущих поколений невозобновляемых природных ресурсов.

Характерной чертой конца двадцатого столетия явилось осознание производителями алюминиевой продукции и потребителями конечных изделий выгоды и практичности вторичной переработки. В период с 1990 по 2000 г. потребление алюминия в мире возросло на 28,5 %. При этом в разных странах, таких как США и Германия, производство первичного алюминия из-за роста цен на энергию сократилось примерно на 10 % и одновременно существенно увеличилось производство вторичного алюминия, соответственно на 44,1 и 23,9 % [1].

1990-е годы в России характеризовались нерациональным использованием вторичного алюминиевого сырья. Некогда подотрасль вторичного алюминия Миниветмета включала более десятка металлургических заводов мощностью от 5 до 220 тыс. т/год. В 1990 г. было произведено 778 тыс. т вторичных алюминиевых сплавов на внутренний рынок и 92 тыс. т сплавов на экспорт, а также поставлено 100 тыс. т скрапа металлургическим заводам. В последующие годы началась деградация подотрасли в сфере заготовки алюминиевого лома в стране, а с 1996 года начались все возрастающие поставки на экспорт алюминиевого скрапа. И только введение 30%-ной таможенной экспортной пошлины в октябре 1999 г. и 50 %-ной пошлины в сентябре 2000 года позволило затормозить этот процесс, хотя вывоз из страны вторичных алюминиевых сплавов продолжался в значительных объемах.

В 1990-е годы, наряду с традиционными изготовителями вторичных сплавов, мощности которых оказались загруженными на 30 - 50 %, возникло множество металлургических предприятий и участков, производящих от 200 т и более вторичных алюминиевых сплавов в год. В 2000 г. примерно 135 производителями было изготовлено 660 тыс. т вторичных сплавов. Большинство этих заводов применяют примитивные технологии и оборудование и изготавливают сплавы АК5М2 и АВ87 невысокого качества, которые на рынке проигрывают в цене 100 долл./т и рассматриваются как сырье для производства качественных вторичных сплавов. По оценкам зарубежных экспертов, лишь несколько российских вторичных сплавов в 2000 г. соответствовали по качеству мировому уровню [1].

Недостаточная промышленная активность предприятий, перерабатывающих алюминий в России, привели к тому, что для рециклинга алюминия стало поступать мало «нового» сырья — отходов машиностроительных заводов, скрап — лом использованных изделий, а преобладание экспортной составляющей в работе заводов вторичного алюминия способствует постепенному истощению сырьевых запасов.

В последующем количество собираемого «старого» скрапа снизилось.

На рынке стала ощущаться его нехватка. Сокращение предложения алюминиевого скрапа на российском рынке и соответствующее повышение цен на скрап заметно осложняют работу предприятий, занимающихся рециклированием алюминия.

Промышленная депрессия в период реформирования экономики усугубила положение в переработке и потреблении алюминия в стране. К 2000 г. общее потребление алюминия сократилось в 4 раза, а производство вторичного алюминия уменьшилось на 24,1 %.

В 2001 г., когда уже началось некоторое оживление внутреннего рынка алюминия, Россия отставала от развитых стран примерно на порядок в душевом потреблении алюминия и более чем в 25 раз в потреблении вторичного алюминия. Если в развитых странах почти каждый третий килограмм потребленного алюминия изготовлен из вторичного сырья, то у нас при весьма малом уровне потребления алюминия (~6 кг на душу населения в год) количество потребляемого вторичного алюминия было очень мало.

В деятельности российских алюминиевых компаний преобладают поставки на внешний рынок алюминия и первичных сплавов. В 2002 г. из 3 млн. 340 тыс. т произведенного алюминия и первичных сплавов было экспортировано 2,8 млн. т. Кроме этого, на внешний рынок ушло 394 тыс. т (87 %) вторичных алюминиевых сплавов [2].

С 2001 г. из-за нехватки сырья начало сокращаться производство вторичного алюминия и на российских заводах.

Среди особенностей современного производства вторичного алюминия в России следует отметить:

- постепенное исчерпывание сырьевых запасов «старого» скрапа;
- изменение структуры перерабатываемого скрапа;
- присутствие большого числа переработчиков;
- преобладание экспортной составляющей в работе предприятий;
- применение устаревшего оборудования и примитивных технологий;
- появление новых видов скрапа.

К модернизации производства побуждает и появление новых видов скрапа. Сейчас в России наиболее динамично растущим сегментом рынка алюминия является алюминиевая упаковка (банки для напитков, пищевые и медицинские контейнеры, аэрозольные баллоны, разнообразная фольга и т.п.). В 2000 г. для этих целей было потреблено 95 тыс. т алюминия, и к 2012 г. ожидают достижения уровня потребления алюминия для упаковки 200 - 300 тыс. т/год.

Одним из новых видов алюминиевого скрапа являются использованные банки для напитков. В ближайшей перспективе производство алюминиевых банок в России может вырасти до 5 - 6 млрд шт./год. и актуальной задачей станет сбор использованных банок и их переработка.

В 2003 г. в мире было продано 180 млрд алюминиевых банок для

напитков и от переработки использованных банок было получено 1 млн 200 тыс. т вторичного алюминия. Коэффициент сбора использованных банок для вторичной переработки достаточно высок. Так, в США создана замкнутая система оборота металла в производстве и потреблении банок, позволяющая изготавливать каждую вторую банку из рециклированного металла. Хорошо организованы сбор и переработка использованных алюминиевых банок в Японии, Бразилии и отдельных странах Европы [1].

В России же, по разным оценкам, коэффициент сбора использованных алюминиевых банок не превышает 20 %, из которых только половина возвращается в производство новых банок. Вместе с тем, каждый миллиард изготовленных банок емкостью 0,33 л создает более 16 тыс. т оборотных отходов, используемых у производителя баночной ленты, 2 тыс. т шлака и более 4 тыс. т отходов в виде высечки и обрезки, которые перерабатываются на заводе вторичного алюминия. Там же будет осуществляться переплав скрапа – лома использованных банок с возвратом извлеченного металла в производство баночной ленты.

В этой цепочке есть два ключевых момента. Первый заключается в организации системы надлежащего сбора использованных банок и подготовки их к переплаву. 1 млрд. использованных — это более 14 тыс. т алюминиевого сырья. А второй момент заключается в применении современных технологий (воздействия электромагнитными полями, рентгеновскими лучами, лазерным излучением, плазмой и ультразвуком), позволяющих обеспечить максимальное извлечение металла с качеством, как из первичного алюминия.

Следует отметить, что использованная алюминиевая упаковка — это «трудный» для рециклирования материал. С одной стороны, короткий жизненный цикл ее, достаточно хорошая однородность состава металлической части, большая энергоемкость материала делают привлекательным процесс ее сбора и переработки. Но, с другой стороны, значительно малая толщина металла, небольшие размеры и масса существенно осложняют процесс рециклирования и требуют применения специального оборудования и технологий.

Применение современных технологий позволяет производить из скрапа вторичные алюминиевые сплавы с качеством, как первичного алюминия; обеспечивать снижение издержек производства и предохранять от вредных воздействий окружающую среду. К сожалению, эти технологии пока не применяются на наших заводах вторичного алюминия. Поэтому необходим подъем уровня производства, который обеспечит существенное улучшение качества вторичных сплавов, и высокие показатели извлечения металла даже из такого трудного скрапа, как алюминиевая упаковка.

Мировое потребление алюминия в 2007 году составило около 40 млн. т в год. Из них 24 млн. т первичного алюминия и 16 млн. т вторичного алюминия. В России общее потребление составило 850 тыс. т. Рынок вторичного алюминиевого сырья способен дать 650 тыс. т алюминия.

Уровень потребления алюминия в лидирующих странах в 2008 году представлен на рисунке 1.

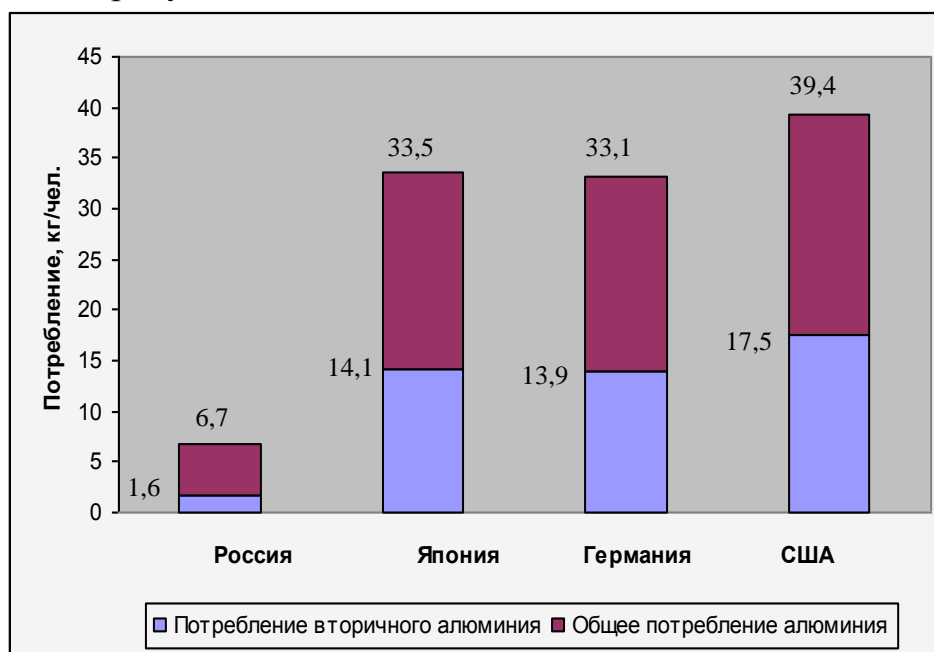


Рисунок 1 – Уровень потребления алюминия в различных странах 2008 год

Главная задача в рециклировании алюминия — расширение рынка вторичного алюминия в России, создание таких условий, которые способствовали бы прекращению вывоза вторичных алюминиевых сплавов и эффективному их применению в отечественном машиностроении, строительстве и упаковке.

Для ее решения особенно важным является дальнейшее совершенствование и усиление мер государственного регулирования процессов сбора и переработки алюминиевого скрапа в условиях развития рыночных отношений: предоставление разного рода льгот и преимуществ в случае эффективного использования вторичных ресурсов, выпуск технических регламентов на безопасность процесса рециклирования и контроль их соблюдения, введение повышенных экспортных пошлин на вторичные алюминиевые сплавы и многое другое. Наряду с этим необходима пропаганда преимуществ применения вторичных алюминиевых сплавов в сравнении с другими материалами, изыскание на основе кооперированных исследований новых эффективных областей применения вторичного алюминия и новых композиций сплавов, необходимы информационный обмен и контакты, в том числе и с зарубежными фирмами, имеющими больший прогресс, чем отечественные предприятия, в этой области.

#### Библиографический список

1. Макаров Г.С. Развитие производства вторичного алюминия в России // Цветные металлы. – 2004. - № 1. - С. 62-66.

2. Макаров Г.С. 2-я Международная конференция «Рециклинг алюминия» // Цветные металлы. – 2004. - № 7. - С. 71-72.

УДК 622.6

## **ИНЕРТНЫЙ АНОД В ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ**

**Кручинин Г.О., Кормилицын Д.Э.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Распространенный в настоящее время углеродсодержащий материал для изготовления анодов при электролизе алюминия не является идеальным и ему свойственен ряд недостатков, негативно сказывающихся как на самом процессе электролиза, так и на состоянии окружающей среды.

Так, анодное перенапряжение углерода составляет примерно 0,5 В, что соответствует почти половине величины ЭДС, необходимой для производства алюминия электролизом при углеродосодержащих анодах. Помимо этого выделяющиеся при электролизе смолистые вещества и диоксид углерода загрязняют окружающую среду и пагубно сказываются на здоровье работников цеха. В таблице 1 приведены выбросы в атмосферу Новокузнецкого алюминиевого завода.

Таблица 1 – Абсолютные выбросы в атмосферу Новокузнецкого алюминиевого завода

| Наименование выбросов | т/сут. | кг/т Al | кг/т Al |
|-----------------------|--------|---------|---------|
| Твердая пыль          | 55,2   | 63,4    | 2,0     |
| Диоксид серы          | 2,3    | 2,7     |         |
| Диоксид углерода      | 75,0   | 86,0    |         |
| Фтористые соединения  | 4,6    | 5,3     | 1,0     |
| ПАУ                   | 0,05   | 0,06    | 0,015   |
| Всего                 | 137,15 | 157,47  |         |

Стоимость каменноугольного пека и электродных коксов, необходимых для производства угольного анода, а так же стоимость переработки отходов электролиза, таких как, например, угольная пена, достаточно высока по отношению к тонне произведенного алюминия.

Целью данной работы является анализ известных технологических направлений в разработке инертного анода и перспективы их промышленной реализации.

Из-за вышперечисленных недостатков углеродсодержащего анода

ведутся работы по поиску материала, способного заменить углерод в составе анода, и не обладающего его недостатками.

В настоящее время большое внимание уделяется разработке перспективных материалов инертных анодов для алюминиевых электролизеров, которые должны обладать следующими свойствами:

- Скорость коррозии менее 1 см/год;
- Электросопротивление при температуре 960 °С менее 50 мкОм·м;
- Изменение электросопротивления в течение 1 года работы не более 10 %;
- Термостойкость не менее 100 теплосмен;
- Сохранение геометрических размеров при  $T \leq 1000$  °С;
- Прочность при сжатии не менее 50 МПа;
- Возможность сварки или механической обработки для создания конструкции анода;
- Не загрязнение алюминия анодными веществами;
- Малая стоимость.

Исследования по инертным анодам проводились в основном по таким классам материалов как металлы, керметы, оксиды. [1] Существует также новое техническое решение в создании инертного анода: синтез капсулированного градиентного композиционного (КГК) материала.

**Металлические аноды.** Многие металлы имеют высокую электропроводность, но, находясь в криолитовых расплавах, подвергаются окислению и коррозии. Для использования таких металлов в качестве материала для инертного анода они должны быть покрыты стабильным оксидным слоем, который должен их пассивировать и не растворяться в электролите.

В Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова проводились исследования инертных анодов, изготовленных из жаропрочного коррозионного сплава Ni-Cr-Mo-Al-Ti. Кроме того, рассматривались образцы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Исследования показали, что без защитных покрытий все они не могут служить в качестве инертных анодов, так как на их поверхности образуется оксидный слой, который, разрастаясь со временем, отслаивается от образца и переходит в криолитовый расплав.

Опыты с различными покрытиями ( $ZrO_2$ , смесь  $ZrO_2$  с NiO) не дали положительного результата. При электролизе в креолитглиноземных расплавах происходили сначала разрушение защитного покрытия, а затем электрохимическое растворение металлической основы анода.

Единственным металлом, удовлетворяющем большинству требований, предъявляемых не инертному аноду, является платина при плотности тока до 5 А/см<sup>2</sup>. но по понятным причинам она не может использоваться в качестве инертного анода. [2]

**Керметные аноды.** Керметы – это материалы, состоящие из стойкой к коррозии оксидной матрицы и электропроводной металлической фазы.

Следовательно они должны обладать свойствами как металлов (электропроводность, механическая стойкость), так и оксидов (устойчивость к коррозии). Отрицательной стороной керметных анодов является недостаточно высокие термические свойства, а также низкая механическая прочность. Хотя работы по созданию керметных анодов ведутся во многих научных центрах разных стран, пригодный материал для создания инертного анода пока не найден.

**Оксидный анод.** Такие аноды устойчивы к выделяющемуся кислороду, и потому исследовались на пригодность в качестве материала для инертного анода. Однако почти все материалы, исследованные в настоящее время, имеют определенную растворимость в расплавленном криолите и загрязняют электролитически полученный алюминий. Кроме того, почти все оксиды имеют высокое омическое сопротивление. Чтобы оксиды были приемлемыми в качестве анода для производства, эти материалы должны иметь скорость коррозии не более 1 — 3 см/год. [3]

Есть и положительные результаты исследований оксидных анодов, но они все равно не полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к нерасходуемому аноду.

**Капсулированный градиентный композиционный (КГК) материал.** Представляет собой беспористую многослойную композицию с барьерными защитными слоями, способными увеличить стойкость анода одновременно и к воздействию атомарного кислорода, и к электрохимической коррозии в процессе электролиза. При этом внешний беспористый слой из оксидной керамики или кермета защищает материал от воздействия атомарного кислорода. Анод по этой технологии полностью покрывается беспористым оксидным покрытием, включая и место контакта с электрической шиной. Следующий слой (или несколько слоев при разных соотношениях оксида и металла) — перемешанный, выполненный из смеси оксида с интерметаллидом, несет в себе двойную защиту. От воздействия атомарного кислорода защищает оксидная составляющая, а наличие интерметаллида снижает химический потенциал протекания электрохимической коррозии. Наконец, центральная часть анода состоит из металлического сплава (интерметаллида), обладающего высоко тепло- и электропроводностью и приемлемой устойчивостью против электрохимической коррозии. В этом случае металлическая сердцевина позволяет достаточно просто решить проблему крепления шины к аноду. Основной проблемой создания КГК-анода является оптимальный подбор составов интерметаллида и оксида, соотношения оксидной и металлической фаз в перемешанном слое и состава внешнего напыленного слоя [1].

В Институте металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова были проведены исследования этой технологии. Из всех исследуемых образцов относительно высокую стойкость показал анод, в котором в качестве оксидной составляющей был взят никелевый феррит, а металлической — сплав, % Ni – 6 Al – 10 Cu - 11 Fe - 3 Zn. Коррозия этого образца не

наблюдалась при его работе в течении 72 часов.

### **Заключение**

В данном докладе рассмотрены перспективные направления в разработке инертного анода. Работы ведутся по исследованию металлов, керметов, оксидов. Рассмотрена также новая технология получения нерасходуемого анода: синтез капсулированного градиентного композиционного материала.

Несмотря на очевидные преимущества инертного анода перед используемым ныне углеродсодержащем анодом (снижение себестоимости алюминия, отсутствие вредных выбросов) эта технология еще не достаточно отработана и не готова для массового внедрения на предприятия.

### **Библиографический список**

1. Лайнер Ю.А. Разработка и синтез инертных анодов для алюминиевой промышленности // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2004. - № 3. – С. 50 – 60.
2. Галевский Г.В. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия: учеб. пособие / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. – 2-е изд. – М. : Флинта: Наука, 2005. – 272 с. : ил.
3. Галевский Г.В. Металлургия алюминия : Справочник по технологии и оборудованию / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. - СибГИУ. – Новокузнецк, 2009. – 251 с. : ил.
4. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Мировое и отечественное производство: оценка, тенденции, прогнозы: Учеб. пособие / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. - М. : Флинта: Наука, 2004. – 280 с.

УДК 669.2:669.4

## **ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЯ**

**Иванченко А.М., Федякина А.Н.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

При производстве первичного алюминия образуются твердые отходы в виде шлаковых отложений на стенках миксеров, печей, ковшей и т. д. Эти отходы, наряду с ломом промышленных и бытовых изделий, а также отходами при переработке алюминия (производство литых и деформируемых изделий), являются ценнейшим сырьем для производства вторичного алюминия, что имеет большое значение для экологии в целом.

Производство вторичного алюминия является одной из наиболее



быстро развивающихся подотраслей цветной металлургии передовых зарубежных стран.

Рост производства и потребления вторичного алюминия определяется в первую очередь экономической целесообразностью повторного использования резко дорожающего первичного сырья. При этом основным преимуществом является существенная экономия энергоносителей, доля которых достигает в некоторых странах 50% и более от издержек на производство металла.

Страны Восточной Европы и СНГ являются крупными поставщиками сплавов из вторичного алюминия на мировой рынок, особенно в Японию. Общие ресурсы алюминиевого лома в странах СНГ и Балтии оцениваются в 600 тыс. т. Официальные данные об экспорте вторичного алюминия из России отсутствуют.

При использовании вторичного сырья на предприятиях, производящих на основе вторичного лома, небольшую часть этих сплавов на основе вторичного лома, небольшую часть этих сплавов можно использовать как присадку к первичному алюминию или к сложным, дорогостоящим сплавам, не допуская снижения их качества. Это определенно позитивно скажется на технико-экономических показателях производства.

Схемы первичной обработки лома и отходов и металлургического цикла выполняются с учетом применения машин и механизмов, находящихся в настоящее время в эксплуатации, но одновременно предусматривается возможность использования нового оборудования и процессов.

К примеру, повышение эффективности процессов рафинирования вторичных алюминиевых сплавов. Одним из направлений повышения рентабельности производства вторичных алюминиевых сплавов является расширение номенклатуры и выпуск высококачественных сплавов по мировым стандартам. В условиях значительного повышения цен на амортизационный лом и всё возрастающих цен на энергоносители - это единственный способ удержаться на мировом рынке металлов.

В настоящее время на производство сплавов для удаления избыточного магния используется, в основном, рафинирующие флюсы на основе хлоридов и фторидов калия, натрия и алюминия. Затраты на приобретение флюсов на некоторых, производящих высококачественные литейные сплавы предприятиях, существенны. В связи с этим повышение эффективности их использования актуально, как с точки зрения снижения себестоимости сплавов, так и снижения вредных выбросов в окружающую среду. На практике, при существующих технологиях флюсования, расход активного флюса (смесь криолита, фтористого алюминия и сильвинита) обычно составляет 7-10 кг на 1 кг магния, что в 2-3 раза больше теоретически необходимого. Повышенный расход флюсов увеличивает выход шлаков рафинирования, и, как следствие, потери металла с ним. Так, например, на заводе, использующем до 30 т/мес. флюса «ЭКОРАФ 3» из-за

двойного его перерасхода образуется порядка 50 т шлака дополнительно. В этот шлак будет увлечено:  $50 \times 40\% = 20$  т алюминия, а потеряно в связи с неполнотой извлечения и окисления порядка 8 т. металла на сумму 9600 \$/мес.

Приведенные данные показывают, насколько важен вопрос оптимизации технологии рафинирования как с точки зрения сокращения расхода флюсов до теоретически необходимого, так и связанного с этим снижения выбросов хлоридов и фторидов в окружающую среду.

Наиболее приемлемым вариантом в этом случае был бы вариант поиска более дешевого флюса с наименьшим (близким к стехиометрическому) расходом.

Кроме того, технология должна предусматривать минимизацию затрат времени рафинирования, которое в настоящее время составляет 45-90 минут, и при более глубоком рафинировании от магния (до 0,1%), может существенно возрасти.

В настоящее время имеются технологии плавки и рафинирования вторичного алюминия позволяющий сократить потери со шлаками, снизить расход флюсов и времени рафинирования, снизить выбросы галогенов в окружающую среду, в т.ч. и их залповые выбросы. Вопрос заключается в правильном их применении на основе известных представлений в области теории металлургических процессов и теории печей.

Для доведения качества сплавов до уровней мировых стандартов на заводах необходимо внедрить систему рафинирования металла в процессе его разлива на конвейер, включающий продувку расплава азотом с последующей фильтрацией через стеклоткань или пенокерамический фильтр. Инвестиции на создание и освоение такой установки составят порядка 10 тыс. \$, эксплуатационные затраты - около 1,2 \$ на тонну сплава. Такая установка с положительным эффектом прошла широкомасштабные промышленные испытания на Ташкентском и Харьковском заводах Вторцветмет ещё в 80 - х годах.

Другие технологии используются в металлургии первичных сплавов и могут дать положительный эффект в производстве вторичных. Что-то еще находится на стадии экспериментов. От традиционных технологий их отличают способы и величины энергии, передаваемой металлу. К таким технологиям относятся воздействия электромагнитными полями, рентгеновскими лучами, лазерным излучением и ультразвуком.

Использование электромагнитного поля для плавки металла известно давно. Новым аспектом в его применении, получающим все более широкое распространение в последние годы, является перемешивание расплава с целью интенсификации тепло- и массообменных процессов в пламенных печах и безокислительного плавления (точнее растворения) легковесной шихты в потоке горячего металла. Это позволяет не только существенно увеличить производительность печей, уменьшить расход топлива, но и повысить степень извлечения металла и его качество. Еще одна возможность применения электромагнитного поля – это рафинирование расплава от

неэлектропроводных включений. Принцип удаления твердых металлических включений из алюминиевого расплава с помощью электромагнитных сил, как бы «утяжеляющих» жидкий металл, достаточно известен. Сорок лет тому назад он был подтвержден в исследованиях ВИЛСа и Института проблем литья (ныне ФТИМСНАН Украины). Но тогда в промышленных условиях не удалось обеспечить стабильность результатов из-за влияния краевых эффектов. Сейчас эти работы интенсивно ведутся в Шанхайском университете в Китае, где кажется, нашли решение этой проблемы. Возможно, уже в ближайшие годы эта экологически чистая технология найдет промышленное применение.

Новым процессом, использующим возможности электромагнитного поля, является производство точных отливок или деталей путем формирования металла с тиксотропной структурой в твердожидком состоянии. Отличие такой структуры от традиционной дендритной состоит в форме зерен.

Здесь начинают применяться две технологии. Первая под названием «VeivetFlow casting» разработана французской компанией «Novelis» и состоит в получении в слитках непрерывного литья недендритной структуры за счет электромагнитного перемешивания в процессе рекристаллизации. Последующий нагрев заготовок из этих слитков до температуры твердожидкого состояния позволяет при минимальном сопротивлении деформации получить точные тонкостенные детали в штампах или формах. Вторая технология разработана японской компанией UBE Industries Ltd и заключается в контролируемом охлаждении расплава в высокочастотном электромагнитном поле до получения в структуре 40 -50 % доли жидкой фазы. Далее заготовка передается в машину литья под давлением. Одно из главных преимуществ процесса - отсутствие пористости в металле, что позволяет вести в последующем термообработку и получать уровень свойств, приближающийся к деформированному металлу. Исследования в Австрийском исследовательском центре по изучению литых сплавов в Рансхофене показали возможность применения технологии New Rheocasting Process для производства высококачественных точных отливок из вторичных сплавов.

Следует отметить и еще один момент. Высокие технологии открывают большие возможности для реализации автоматизированных процессов сортировки вторичного сырья. На 2-ой конференции по рециклингу алюминия в докладе Делфтского университета подробно рассматривалось использование электромагнитного поля для сортировки алюминиевого скрапа, обладающего разными электрическими и магнитными свойствами.

Процесс электропневматической сепарации алюминия из бытовых отходов разработан американской компанией Magnetic Separations Systems, Inc. Отходы, прошедшие предварительно магнитную сепарацию, но содержащие немагнитный металл (алюминиевый скрап в виде банок, баллончиков, тубиков, колпачков, крышек, картонной и бумажной упаковки

с фольгой и т. п.) перемещаются по вибрационному желобу. Проходя через зону электронных датчиков вихревых токов, металл вызывает соответствующий массе куска импульс воздушного потока, отделяющий его от остальных отходов. Степень извлечения алюминия превышает 98 % при производительности установки 1- 2 т/ч. В мире уже находятся в эксплуатации 25 таких установок. Их применение перспективно и в российских условиях. Например, по оценкам специалистов, содержание мелкого алюминиевого скрапа от упаковки в твердых бытовых отходах, вывозимых для захоронения на подмосковные полигоны, находятся в пределах 0,2 - 0,5 %. А если учесть, что в стране ежегодно такого мусора вывозится около 40 млн. т, то становится понятным: большая часть использованной алюминиевой упаковки у нас пока теряется.

Сегодня 11,6 млн. т – около 40 % общего количества металла на мировом рынке – это металл, полученный переработкой лома. Производство первичного алюминия можно рассматривать как энергетический банк, поскольку начальные затраты на электроэнергию при производстве первичного алюминия покрываются при последующей его переработке. Алюминий можно перерабатывать неоднократно без заметных потерь и без ущерба для его качества.

За последние 40 лет потребление рециклированного алюминия как разница в потреблении алюминия и производстве первичного алюминия увеличивалось из года в год, но особенно динамичное развитие получило в 80 –х гг. прошлого века. Этому способствовали следующие причины:

- экономического порядка, связанных с высокой стоимостью энергии и возможностью ее значительной экономии при использовании вторичного алюминия взамен первичного металла, а также обусловленных повышенной стоимостью алюминиевого скрапа, стимулирующей его сбор;

- технического порядка, связанных со способностью алюминия многократно подвергаться переплавке с небольшим уровнем потерь и вызванных в технологии переработки скрапа, позволившим обеспечить требуемый уровень свойств и качество изделий;

- экологического порядка, обусловленных стремлением сохранить для будущих поколений невозобновляемые природные ресурсы и производить «дружественный для пользователя и экологии «зеленый» металл» с минимальным расходом энергии и меньшим загрязнением природной среды.

#### Библиографический список

1. Галевский Г.В. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия: учебное пособие; 2-е изд. - М: Флинта: Наука, 2005. – 272 с.
2. Галевский Г.В. Металлургия вторичного алюминия. -Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. — 289с.
3. Макаров Г.С. Высокие технологии в рециклинге алюминия: возможные перспективы развития. - Цветные металлы. – 2006. - № 8. – С. 112-117.

## СЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ

Душин Е.С., Флейглер С.А.

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Соединения серы в криолит-глиноземных расплавах являются нежелательной примесью, так как оказывают негативное влияние на технико-экономические и экологические показатели процесса электролиза алюминия. Сера поступает в электролит с анодной массой, глиноземом, фторосолями, но основным источником серы является нефтяной кокс. Содержание серы в основных видах сырья приведено в таблице 1.

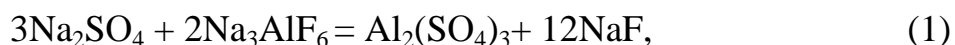
Целью данной работы является анализ известных технологических решений по выводу соединений серы из отработанных растворов газоочистки и системы газоочистки, а также возможность их реализации в производстве первичного алюминия.

При попадании соединений серы в электролит в результате ряда физико-химических превращений происходит ее перераспределение: основное количество серы выделяется в газовую фазу с анодными газами, часть впитывается в футеровку электролизера, а часть выводится с нарабатываемым алюминием и снимаемой угольной пеной [1].

Таблица 1 – Содержание серы в основных видах сырья

| Вид сырья и материалов | Расход, кг/т Al | Содержание серы, % | Количество SO <sub>2</sub> , кг |
|------------------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|
| Материал анода         | 560             | 1,5                | 16,8                            |
| Глинозем               | 1890            | 0,02               | 0,76                            |
| Фториды                | 70              | 0,3                | 0,42                            |
| Всего                  | -               | -                  | 17,98                           |

При наличии серы в анодной массе на анодных штырях образуется корка сульфида железа FeS, что повышает потери энергии в аноде. В электролизере сульфаты вступают в обменную реакцию с криолитом:



в результате которой повышается криолитовое отношение электролита. Растворенный в электролите сульфат натрия восстанавливается алюминием:



что снижает выход по току (1 кг серы вызывает потери 2,25 кг

алюминия), а также приводит к дополнительному расходу фтористого алюминия на корректировку образующегося по реакции (1) фтористого натрия [2]. Получившийся сульфид переносится к аноду и окисляется до серы, которая взаимодействует с  $\text{CO}_2$ :



Выделяющийся сернистый газ  $\text{SO}_2$  ухудшает условия труда, оказывает общетоксическое и раздражающее воздействие. В процессе очистки выводимых из электролизеров газов раствором кальцинированной соды одновременно с  $\text{HF}$  улавливается  $\text{SO}_2$  в виде  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , который окисляется кислородом воздуха до  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . От 52 до 62,5 % серы в виде  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  накапливается в циркулирующих газоочистных растворах, что приводит к увеличению расхода кальцинированной соды, интенсивному заполнению шламовых полей сульфатсодержащими растворами и их солями.

В настоящее время на отечественных алюминиевых заводах, оборудованных электролизерами с анодами Содерберга, применяются две схемы газоочистки [1]:

1) традиционная - электрофильтры от пыли + мокрая газоочистка от фтора и серы;

2) сухая на промышленном глиноземе от фтора и пыли + мокрая от соединений серы.

Традиционная схема газоочистки по сравнению с сухой газоочисткой характеризуется меньшим выбросом  $\text{SO}_2$  в атмосферу при большем объеме образования твердых серосодержащих отходов.

Для уменьшения негативного влияния серосодержащих соединений необходимо организовать их принудительное выведение из технологического процесса.

Вывод соединений серы из системы газоочистки может осуществляться следующими способами:

- технология кристаллизации мирабилита;
- технология вывода сульфатов каустификацией;
- бариевый способ конверсии сульфата натрия из растворов сульфид натрия;
- биохимическая очистка;
- вывод сульфата натрия через шламовые поля.
- сухая сероочистка известью - пушонкой;
- сухая сероочистка цеолитом;
- технология очистки промышленных газовых выбросов от серосодержащих компонентов с использованием специального электрического поля АСЭП.

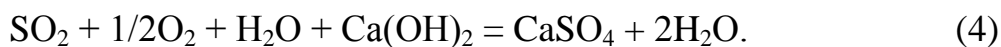
Ниже нами будут рассмотрены наиболее перспективные технологические решения по выведению соединений серы из системы газоочистки.

В СибВАМИ детально исследован метод выделения мирабилита из

оборотных растворов газоочистки через стадию кристаллизации. На основании выполненных исследований разработана аппаратурно-технологическая схема вывода сульфатных соединений из оборотных растворов газоочистки. СибВАМИ выполнены проекты установок по выводу сульфатов для шести алюминиевых заводов. Практическое строительство установки было осуществлено на Братском алюминиевом заводе с вводом в эксплуатацию в 1984 г. Ввод установки осуществлен только до получения мирабилита  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Переделы перекристаллизации, обезвоживания и сушки не были освоены [1].

В связи с отсутствием на алюминиевых заводах установок по выводу сульфатов СибВАМИ и КрАЗ разработан и получил распространение способ осаждения сульфатов на шламовых полях. Способ заключается в сбросе растворов газоочистки с высоким содержанием сульфатов на шламовые поля. При понижении температуры надшламовой воды происходит кристаллизация десятиводного сульфата натрия (мирабилита) и его осаждение на дно шламохранилища. Осадок мирабилита покрывается другими отходами (хвостами флотации, шламами) и обратного растворения практически не происходит. При использовании данного способа необходимо иметь идеальную гидроизоляцию шламовых полей и значительный свободный объем для накопления и охлаждения сульфатсодержащих растворов. Альтернативой расширения шламовых полей являются разработка и внедрение технологий вывода сульфатов из отработанных растворов газоочистки непосредственно в газоочистной аппаратуре [1].

Одним из перспективных направлений решения проблемы вывода соединений серы из процесса при производстве алюминия является сухая очистка отходящих газов от сернистого ангидрида путем подачи известково-пушонки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в поток газа с последующим разделением твердых и газообразных продуктов. Для повышения эффективности очистки пушонка увлажняется незначительным количеством воды. При этом протекает реакция:



Отделение пыли от очищенного газа производится фильтрацией через ткань в рукавных фильтрах. Полученный гипс (фторгипс) является отходом и подлежит захоронению [1].

Проанализировав данные технологии выведения серы из процесса можно сделать следующие выводы:

1) в настоящее время нет промышленно освоенной технологии вывода соединений серы из процесса при производстве алюминия, являющейся альтернативой вывода сульфата натрия через шламовые поля. Однако существующая технология выведения сульфатов через шламовые поля создает значительные экологические и экономические трудности;

2) технология вывода сульфата натрия кристаллизацией мирабилита

экономически оправданной может быть в случае получения и реализации товарной продукции;

3) сухая очистка отходящих газов от сернистого ангидрида известью - пушонкой является перспективной, так как решается проблема шламовых полей. Основным недостатком данного способа являются высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

#### Библиографический список

1. Куликов Б.П. Сера в производстве алюминия / Б.П. Куликов, И.А. Тарасов // Цветные металлы. – 2006. - № 9. - С. 65 – 70.

2. Галевский Г.В. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. – М.: Флинта: Наука, 2005. – 272 с.

УДК 622.6

### **ИНЕРТНЫЕ АНОДЫ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ**

**Панэ А.П., Широких О.А.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Алюминиевые электролизеры с предварительно обожженными углеродистыми анодами, которые не выделяли в атмосферу вредных соединений и обладали высокой электропроводностью, использовались до 30-х годов прошлого века. Затем начался новый этап в развитии конструкций электролизеров – переход на самообжигающиеся аноды (аноды Содерберга). Эта конструкция электролизера получила широкое распространение благодаря меньшим капитальным и эксплуатационным затратам по сравнению с обожженными анодами. К примеру, производительность Красноярского и Братского алюминиевых заводов, которые оснащены в основном электролизерами Содерберга с верхним подводом тока, в настоящее время превышает 900 тыс. т/год и не имеет аналогов в мире.

Однако электролизеры Содерберга имеют ряд существенных недостатков:

1) с поверхности анодов выделяются смолистые соединения, в состав которых входят и высокотоксичные полиароматические углеводороды (ПАУ);

2) высокие потери энергии в теле анода не позволяют экономно расходовать электроэнергию;

3) плохое качество вторичного анода способствует образованию большого количества пены. [1, с. 8 – 12]



С учетом всего цикла получения алюминия собственно в процессе электролиза выбрасывается около 17 %  $\text{CO}_2$ , а при производстве электроэнергии на тепловых станциях для электролиза выбрасывается 60 % диоксида углерода. Согласно расчетам, на 1 кг электролитического алюминия выделяется около 1 кг  $\text{CO}_2$ , объем которого при температуре окружающей среды равен около  $2 \text{ м}^3$ .

Таким образом, с экологической точки зрения современные электролизеры далеки от совершенства. Весь кислород, содержащийся в глиноземе, соединяется с углеродом и без очистки в виде оксидов выбрасывается в окружающую среду, увеличивая парниковый эффект.

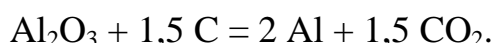
Футеровка катода электролизера, отработав 4 – 6 лет, вывозится на полигон или в отвал, загрязняя почву и подземные воды, так как эти отходы содержат вредные водорастворимые вещества.

До тех пор, пока для производства алюминия будет использоваться принцип Эру-Холла, выбросы фтора и его соединений неизбежны, и они могут быть сокращены путем совершенствования технологии и конструкции электролизеров. [2, с. 77 – 78]

За прошедшие годы научные основы электролиза заметно углубились, а конструкция вновь вводимых электролизеров претерпела значительные изменения.

Для нерасходуемого (инертного) анода основные исследования были сосредоточены на поиске материалов. Вследствие присущих углероду недостатков, он не является идеальным материалом для использования в качестве анода или катодного материала. Кроме того, с ростом производства алюминия ощущается дефицит каменноугольного пека и электродных коксов.

Материалы для нерасходуемых анодов должны быть химически инертны по отношению к криолит-глиноземным смесям и к кислороду, выделяемому на аноде по реакции:



С нерасходуемыми анодами общая реакция имеет вид:



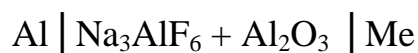
Обратная ЭДС этой реакции при температуре  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  составляет приблизительно 2,20 В по сравнению с 1,20 для обычного процесса. Несмотря на то, что при инертном аноде обратная ЭДС приблизительно на 1 В выше, чем для углеграфитного анода, эта разница может быть скомпенсирована более низким перенапряжением при выделении кислорода, меньшими омическими сопротивлениями в аноде, а также за счет уменьшения МПР. Поэтому при нерасходуемом аноде ожидается чистая экономия, главным образом, за счет сбережения углеродистых материалов, учитывая их стоимость.

Материалы инертных анодов для алюминиевых электролизеров должны обладать следующими свойствами:

- незагрязняемость алюминия анодными веществами;
- скорость износа менее 1 см/год;
- электросопротивление (при рабочей температуре  $\approx 960$  °С) менее 50 мкОм·м;
- изменение электросопротивления в течение 1 года работы не более чем на 10%;
- термостойкость не менее 100 теплосмен;
- прочность при сжатии не менее 50 МПа;
- трещиностойкость не менее  $1,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ ;
- сохранение геометрических размеров при  $T \leq 1000$  °С;
- возможность сварки или механической обработки для создания конструкции анода. [3, с. 50]

Исследовательские работы по нерасходуемым анодам проводились в основном по трем классам материалов, а именно: металлы, оксиды и керметы.

**Металлические аноды.** Практически все металлы имеют высокую электропроводность, но подвергаются интенсивному окислению и коррозии, будучи анодно поляризованными в криолитовых расплавах. Кроме того, имеет место анодное растворение, когда ЭДС пары



меньше, чем ЭДС реакции



для которой стандартная ЭДС составляет 2,2 В. Проведенные исследования показали, что пары Al – Ni, Al – Fe, Al – Cu имеют значение ЭДС поляризации меньше 2 В. Чтобы использовать эти металлы как нерасходуемые аноды, они должны быть покрыты стабильным оксидным слоем, который обнаруживал бы своеобразную пассивацию и не должен растворяться в электролите.

Единственным металлом, который удовлетворяет большинству требований, предъявляемых к инертным анодам, является платина при плотности тока до  $5 \text{ А/см}^2$ .

**Оксидные аноды.** Оксиды устойчивы к выделяющемуся на аноде кислороду, поэтому они исследовались на пригодность их применения в виде нерасходуемых анодов. Однако почти все исследованные материалы имеют определенную растворимость в расплавленном криолите и загрязняют электролитически полученный алюминий. Кроме того, почти все оксиды имеют высокое омическое сопротивление. Чтобы оксиды были приемлемыми в промышленности, эти материалы должны иметь скорость коррозии не более 1 – 3 см/год.

Тем не менее, имеются определенные результаты. Был получен патент на спеченные аноды с матрицей из триоксида иттрия  $\text{Y}_2\text{O}_3$  и с другими соединениями с электронной проводимостью и с электрокаталитическим

материалом на рабочей поверхности. Было заявлено, что электроды являются инертными, размерно-стабильными и могут быть использованы для электролитического производства алюминия из расплавленных солей и при этом потеря их массы не превышает 0,02 – 0,1 г/см<sup>2</sup> после 2000 часов электролиза.

**Керметные аноды** являются классом материалов, в котором присутствуют как металлические, так и керамические компоненты. В идеале они должны иметь свойства и металлических материалов, и керамических. С точки зрения их использования в качестве нерасходуемых анодов, оксиды должны иметь желательные коррозионные свойства, а металлические материалы – высокую электропроводность и механические свойства. [4, с. 165 – 168]

Переход на инертные аноды, по разным оценкам, должен сократить расход электроэнергии и капитальные вложения на 25 % и при этом полностью исключить выбросы оксидов углерода, соединений серы, фторидов углерода, бензопирена и пр.

#### Библиографический список

1. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Электролизеры с анодом Содерберга и их модернизация / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – Москва : Флинта : Наука, 2008. – 239 с.

2. Галевский Г.В. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. – Москва : Флинта : Наука, 2004. – 272 с.

3. Лайнер Ю.А. Разработка и синтез инертных анодов для алюминиевой промышленности / Ю.А. Лайнер, Н.П. Лякишев, М.И. Алымов и др. // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2004. - № 3. – С. 50 – 60.

4. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Мировое и отечественное производство: оценка, тенденции, прогнозы / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. – Москва : Флинта : Наука, 2004. – 280 с.

УДК 669.2:669.4

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЯ**

**Глухова Ю.Ю., Кургуз К.А.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время алюминий является самым востребованным среди цветных металлов – его мировое потребление превышает 40 млн. т в год. Несмотря на кризис, прирост потребления алюминия в 2010 году составил

7,2 % . Структура мирового потребления алюминия представлена на рисунке 1, а уровень потребления алюминия в лидирующих странах – на рисунке 2 [1].

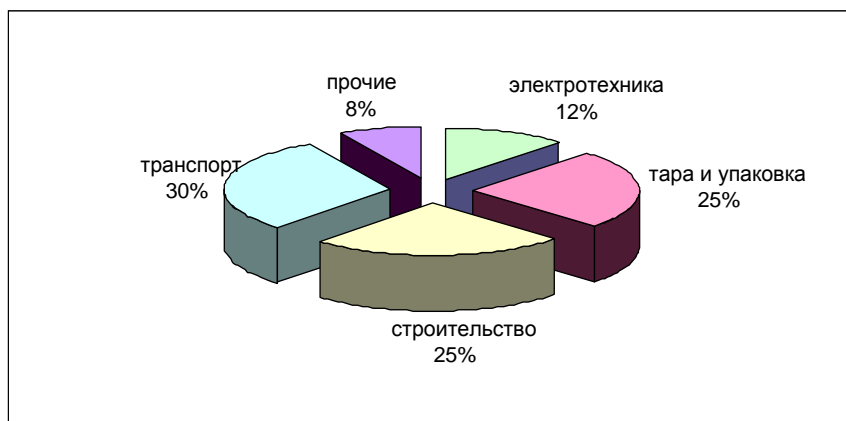


Рисунок 1 – Структура мирового потребления алюминия (2008 г.)

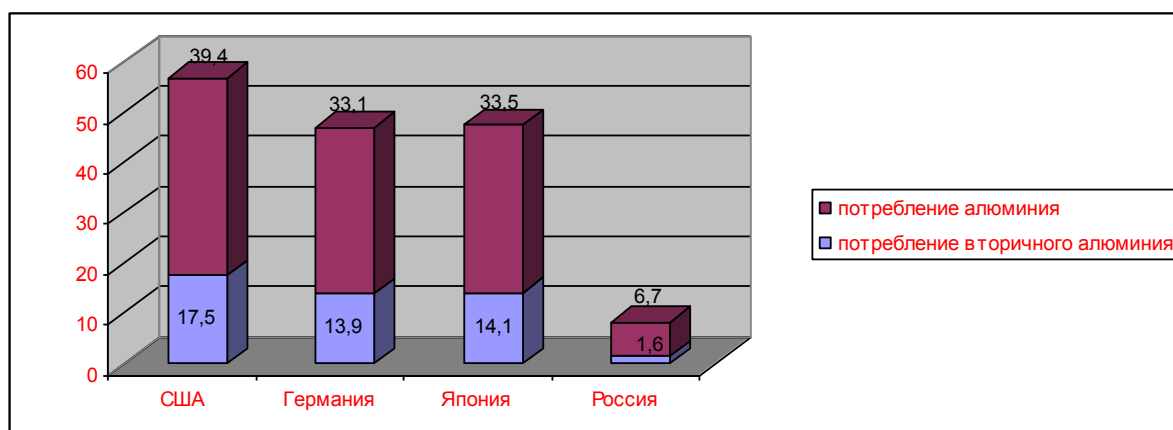


Рисунок 2 – Уровень потребления алюминия в различных странах в 2008 году

Алюминий является важнейшим цветным металлом, по объему производства намного опережающим другие цветные металлы, а среди конструкционных материалов уступающим только стали. Стабильно высокий спрос на алюминий и, соответственно, высокие темпы прироста производства обусловлены его уникальными физико-химическими свойствами, благодаря которым он нашел широкое применение в электротехнике, авиа- и автостроении, транспорте, производстве бытовой техники, строительстве, упаковке, пищевых продуктах и других отраслях.

Однажды полученный из руды алюминий при его последующем многократном применении в виде изделий можно рассматривать как своего рода «энергетические консервы», позволяющие заметно экономить энергию, обеспечить существенно меньшее загрязнение атмосферы и сохранить для будущих поколений невозобновляемые природные ресурсы [2].

Среди особенностей современного производства вторичного алюминия в России следует отметить:

- постепенное исчерпывание сырьевых запасов «старого» скрапа;
- изменение структуры перерабатываемого скрапа;
- присутствие большого числа переработчиков;
- обострение конкуренции на сокращающемся рынке;
- преобладание экспортной составляющей в работе предприятий;
- применение устаревшего оборудования и примитивных технологий;
- появление новых видов скрапа.

Производство вторично алюминия является одной из наиболее быстро развивающихся подотраслей цветной металлургии передовых зарубежных стран.

За последние 40 лет потребление рециклированного алюминия как разница в потреблении алюминия и производстве первичного алюминия увеличивалось из года в год, но особенное развитие получило с 80-х гг. прошлого века. Этому способствовало ряд причин:

- экономического порядка, связанных с высокой стоимостью энергии и возможностью ее значительной экономии при использовании вторичного алюминия взамен первичного металла, а также обусловленных повышенной стоимостью алюминиевого скрапа, стимулирующей его сбор;

- технического порядка, связанных со способностью алюминия многократно подвергаться переплавке с небольшим уровнем потерь и вызванных прогрессом в технологии переработки скрапа, позволившим обеспечить требуемый уровень свойств и качество изделий;

- экологического порядка, обусловленным стремлением сохранить для будущих поколений невозобновляемые природные ресурсы и производить «дружественный для пользователя и экологии «зеленый металл» с минимальным расходом энергии и меньшим загрязнением природной среды.

Что касается спроса на вторичный алюминий, то ожидается его значительный рост. Он обусловлен динамичным развитием транспортного сектора, который составляет 80% рынка вторичного алюминия.

В настоящее время в России в общей массе производимого алюминия лишь около 15% приходится на вторичный алюминий. Дешевые и богатые ресурсы вторичного металла явно не используются в отечественной экономике.

По оценкам западных экспертов объем производства вторичного алюминия в России составил примерно 330 тыс.т. Общие ресурсы алюминиевого сплава в странах СНГ и Балтии оцениваются в 600 тыс.т. Официальные данные об экспорте вторичного алюминия из России отсутствуют.

Международный алюминиевый институт (МАИ) всецело поддерживает подход, основанный на общем жизненном цикле, для оценки воздействия производства и потребления материалов на окружающую среду. Такой подход МАИ основан на том, что затраты энергии при производстве вторичного алюминия составляют лишь 5% от потребности в энергии при

производстве первичного алюминия, что в свою очередь на 95% снижает выброс газов, инициирующих образование парникового эффекта. Приведенные данные свидетельствуют о настоятельной необходимости решения вопросов переработки вторичного алюминия.

К сожалению, в России кризисные 90-е годы прошлого столетия нанесли значительный ущерб отечественной вторичной металлургии, приведя к «распылению» вторичных металлургических ресурсов по сотни мелких предприятий, существенному сокращению производства сплавов на специализированных заводах, почти полному прекращению на них работ по модернизации оборудования и внедрению новых технологий.

За рубежом широко используются установки для извлечения алюминия из жидких шлаков, при этом отмечается, что на четырех российских заводах (БАЗ, СМЗ, БКМЗ и САЗ) эти установки хорошо себя зарекомендовали, но не получили широкого распространения в связи со сложившейся экономической ситуацией [3].

Зарубежный опыт свидетельствует о том, что только широкое использование инноваций и укрупнение компаний, рециклирующих алюминий, позволяют вести высокоэффективное производство, закупать современное оборудование и технологии, обеспечивающие высокое качество, продукции, выполнять строгие экологические требования.

К модернизации производства побуждает и появление новых видов скрапа. Сейчас в России наиболее динамично растущим сегментом рынка алюминия является алюминиевая упаковка (банки для напитков, пищевые и медицинские контейнеры, аэрозольные баллоны, разнообразная фольга и т.п.).

Одним из новых видов алюминиевого скрапа являются использованные банки для напитков.

Главная задача в рециклировании алюминия — расширение рынка вторичного алюминия в России, создание таких условий, которые способствовали бы прекращению вывоза вторичных алюминиевых сплавов и эффективному их применению в отечественном машиностроении, строительстве и упаковке.

Для ее решения особенно важным является дальнейшее совершенствование и усиление мер государственного регулирования процессов сбора и переработки алюминиевого скрапа в условиях развития рыночных отношений: предоставление разного рода льгот и преимуществ в случае эффективного использования вторичных ресурсов, выпуск технических регламентов на безопасность процесса рециклирования и контроль их соблюдения.

Кроме того, нужны пропаганда преимуществ применения вторичных алюминиевых сплавов в сравнении с другими материалами, изыскание на основе кооперированных исследований новых эффективных областей применения вторичного алюминия и новых композиций сплавов, необходимы информационный обмен и контакты, в том числе и с

зарубежными фирмами, имеющими больший прогресс, чем отечественные предприятия, в этой области [4].



Рисунок 3 – Новые технологии в рециклировании алюминия

Перспективы применения алюминия с учетом высокой энергоемкости производства остаются туманными без широкого использования рециклинга.

Следует обратить внимание на следующие моменты:

1. Уровень формирования рециклинга становится индикатором устойчивого развития алюминиевой отрасли. Каждый третий килограмм использованного алюминия уже изготавливается из вторичного сырья. Важнейшее значение при этом придается вовлечению в пропаганду рециклинга общественного мнения и разработке соответствующих государственных нормативных актов.

2. Основная тенденция в развитии индустрии вторичного алюминия — укрупнение предприятий, вызванное необходимостью повышения конкурентоспособности и снижения производственных затрат. Крупных компаний становится больше, в Германии появились компании с годовым выпуском 300 тыс. т вторичного алюминия. Что касается российской индустрии вторичного алюминия, то понимание этой тенденции уже имеет место, хотя наблюдается существенное отставание в действиях.

3. Наиболее важной проблемой вторичной металлургии алюминия является сбор и сепарация скрапа. За последнее десятилетие достигнуты серьезные успехи в плавнении, рафинировании, разливке, позволившие получать вторичные сплавы с качеством, как из первичного металла, но ключ к успеху отрасли — в автоматизации процессов сепарации вторичного алюминиевого сырья.

Аналитики Международного алюминиевого института прогнозируют на ближайшие 2 – 3 десятилетия ежегодный рост объема производства первичного алюминия на уровне 2,5-2,7 % при опережающем (до 4 %) росте производства вторичного алюминия. Основным потребителем вторичного алюминия (около 80 % мирового рынка) является транспортный сектор.

Отмечается стремление транснациональных вертикально-интегрированных корпораций взять под свой контроль производство и сбыт вторичного алюминия путем приобретения в различных регионах мира ломосборочных металлургических предприятий с включением их в свою структуру [5].

### ВЫВОДЫ

1. В условиях значительного колебания цен на первичный алюминий доминирующей тенденцией в развитии алюминийпроизводящих корпораций является реализация бинарной вертикально-интегрированной схемы, сочетающей в параллельных дивизионах выплавку и рециклинг алюминия.

2. Для сохранения конкурентоспособности российским производителям алюминия необходимо увеличить долю вторичного алюминия в общем объеме до мирового уровня, составляющего 35-40 %.

### Библиографический список

1. Тарасов А.В. Производство цветных металлов и сплавов: Справочник в 3-х томах. Т. 2. Кн. 2. Производство легких, редких цветных и драгоценных металлов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 316 с.

2. Локшин М., Макаров Г. // Металлы Евразии. - 2003. - №4. - С. 84 – 86.

3. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Мировое и отечественное производство: оценка, тенденция, прогнозы: Учебное пособие / Г.В. Галевский, Н. М. Кулагин, М.Я. Минцис. – М.: Флинта: Наука, 2004. – 280 с.

4. Willkinson J. // Vetel Bulletin Monthly. - 2002. Nowember. - P. 13 – 16.

5. С.Г. Галевский // Вестник горно-металлургической Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. / СибГИУ – Новокузнецк, 2006. - С. 172 – 179.

УДК 669.2: 669.4

## ПРИМЕНЕНИЕ ФЛЮСОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕЦИКЛИРОВАННОГО АЛЮМИНИЯ

**Антоненко Л.А., Пилипенко Е.В.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Одна из основных мировых тенденций в развитии алюминиевой индустрии – расширение из года в год объемов производства рециклированного алюминия, который все более активно заменяет в изделиях первичный алюминий и в развитых странах доля его в общем потреблении алюминия уже достигает 30 %. Но такая замена первичных алюминиевых сплавов становится возможной, если качество рециклированного алюминия не уступает первичному металлу. Традиционно



для очистки вторичных алюминиевых сплавов применяют флюсовое рафинирование [1].

Сущность процесса флюсового рафинирования алюминиевых сплавов состоит в обработке расплава жидким хлоридным или хлоридно-фторидным флюсом. Благодаря различиям в смачиваемости контактирующих фаз неметаллические включения самопроизвольно переходят из металла во флюс. Также при взаимодействии флюсов с алюминиевым расплавом развиваются обменные реакции, приводящие к окислению примесей и последующем удалении их вместе со шлаком. В некоторых условиях при протекании реакций алюминия с фторидами и хлоридами возможно образование субфторидов и субхлоридов алюминия. Решающее влияние на эффективность процесса оказывают физико-химические свойства флюса. Но степень очистки расплава от неметаллических включений и металлических примесей в значительной мере определяется многообразными технологическими условиями рафинирования. К ним относятся:

- время контакта флюса с металлом;
- удельная поверхность их взаимодействия (площадь контакта);
- интенсивность перемешивания металла и флюса;
- удельный расход флюса.

Поэтому совершенствование технологии флюсовой обработке алюминиевых сплавов идет не только в направлении улучшения физико-химических (главным образом, рафинирующих) свойств флюсов, но и путем интенсификации процессов с помощью различных приемов и устройств.

Многообразие составов флюсов обусловлено их многоцелевым назначением и большим разнообразием составов алюминиевых сплавов. По значению различают флюсы покровные (для защиты сплава от окисления при плавке), флюсы для переработки скрапа и шлаков, рафинирующие, модифицирующие и флюсы специального назначения, например, для защиты футеровки от проникновения в нее алюминиевых сплавов и очистки футеровки от настыли или флюсы для легирования.

Несмотря на многообразие флюсов, в их состав вводят небольшой ряд галогенных соединений хлоридов и фторидов различных металлов. Как правило, основой флюсов являются хлориды щелочных и щелочно-земельных металлов, в которые вводят добавки простых фторидов щелочных и щелочноземельных металлов, фтористый алюминий и криолиты натрия и калия, кремнефториды или фтористые соли некоторых переходных металлов.

Плавка чушек и плотного лома возможна без участия флюсов, но при переработке мелкого лома и отходов с высокой удельной поверхностью использование флюсов значительно сокращает потери металла от окисления и способствует коагуляции капель жидкого металла. Образующаяся на поверхности металла оксидная пленка обладает большой механической прочностью и сохраняет форму кусочка металла, когда последний уже расплавился.

Для изоляции ванны жидкого металла от газов можно применять любой флюс, менее плотный и более легкоплавкий, чем алюминиевый сплав, и не вступающий в химические реакции с металлом и газами. Сложнее подобрать флюс, способствующий слиянию алюминия, заключенного в оксидные оболочки, так как вследствие большой химической стойкости  $Al_2O_3$  восстановление или растворение его возможно только при использовании фторидов.

Лучшие результаты при плавке лома и отходов алюминия дают флюсы, состоящие из хлоридов натрия и калия. Но поскольку растворимость оксида алюминия в этих слоях очень мала, их благотворное влияние на извлечение металла можно объяснить только поверхностными явлениями.

Жидкий металл в оболочке оксидной пленки, окруженный расплавленным флюсом, можно рассматривать как две жидкости, разделенные твердым телом. Под влиянием поверхностного натяжения жидкого флюса и расплавленного металла оксидная оболочка испытывает действие сил сцепления, противоположно направленных: силы сцепления металла с оксидом стремятся удержать оболочку на металле, а силы сцепления флюса с оксидной пленкой стремятся разорвать ее и снять с металла. Если силы сцепления флюса с оксидом количественно больше сил сцепления оксида с металлом и частиц металла друг с другом, то оболочка будет разорвана и впоследствии растворена флюсом.

Освобождение от оксидной пленки капли металла окружены жидким флюсом. Если силы сцепления молекул металла между собой больше, чем силы сцепления металла с флюсом, капли будут сливаться (коагулировать); в противном случае – они будут измельчаться и рассеиваться во флюсе [2].

Вторичное алюминиевое сырье плавят под слоем флюса, который предохраняет металл от окисления. При взаимодействии с расплавленным металлом происходит, кроме того, частичное рафинирование сплава от оксидных включений и газов. Флюс должен удовлетворять следующим требованиям: его температура плавления должна быть ниже температуры плавления сплава; плотность меньше плотности металла; он не должен вступать в химическое взаимодействие с печными газами, футеровкой печи, расплавленным металлом.

Флюс, расплавляясь раньше шихты, покрывает поверхность металла жидким защитным слоем. Другой, более сложный процесс, обеспечивающий переход оксидной пленки с поверхности и из объема металла в расплавленный флюс, основан на соотношении поверхностных натяжений на границах взаимодействующих фаз: металл–оксид–флюс. Степень смачивания расплавленным флюсом поверхностей твердого оксида или жидкого металла зависит от величины поверхностного натяжения флюса на границах соприкосновения фаз. Чем меньше величина межфазного натяжения флюса на границе соприкосновения с металлом или оксидом, тем лучше смачивается флюсом эта поверхность.

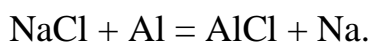
Этот механизм реализуется при соблюдении следующих неравенств:

$$\sigma_{a-o} > \sigma_{ф-a} > \sigma_{ф-o} \text{ и } \sigma_{a-o} > \sigma_{ф-a} + \sigma_{ф-o},$$

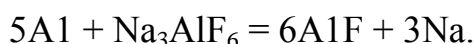
где  $\sigma_{a-o}$ ,  $\sigma_{ф-o}$ ,  $\sigma_{ф-a}$  – поверхностное натяжение на границе раздела фаз алюминий-оксид, флюс-оксид, флюс-алюминий, соответственно.

Лучшими поверхностными свойствами обладает смесь хлоридов натрия и калия в соотношении 1:1. Однако такой флюс также смачивает металл и поэтому препятствует слиянию диспергированных в солевом расплаве капель сплава. Рекомендованная ими добавка криолита в количестве 3–5 % повышает поверхностное натяжение на границе флюс-металл и, следовательно, способствует лучшему слиянию капель алюминия. При таком соотношении компонентов солей потери металла с флюсом минимальны.

На потери алюминия в процессе плавки оказывает влияние и химическое действие флюса. При температуре выше 1700 °С расплавленные соли диссоциируют и взаимодействуют с образованием летучих субгалогенидов алюминия:



Добавка криолита не уменьшает потерь алюминия в результате химического взаимодействия с флюсом, так как:



Большое значение имеет температура плавления флюса, которая должна быть ниже температуры плавления сплава. В наиболее широко используемой на практике системе NaCl–KCl в пределах 40–60 % одного из компонентов температура плавления смеси близка к температуре плавления алюминия. Добавки до 10 % криолита или 1,25 % плавикового шпата снижают температуру плавления системы соответственно до 631 – 641 °С, но при дальнейшем, увеличении количества этих добавок температура плавления смеси резко повышается.

Для сплавов, в состав которых входит магний в количестве свыше 2 %, применение флюсов с криолитом не рекомендуется, так как в этом случае возможна реакция:

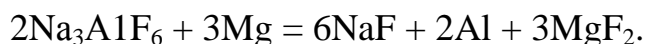


При взаимодействии флюса со сплавом происходит поглощение оксида не только поверхностного, но и распределенного в объеме металла. Этот процесс интенсифицируется перемешиванием металла с флюсом. Поэтому при поглощении оксидов флюсом происходит частичная дегазация расплава. Кроме того, в процессе замешивания флюса в металл происходит образование пузырьков парообразной фазы, в которые диффундирует растворенный в металле водород [3].

Поданным компании Alusil, к 2015 г. значительно увеличится доля легковесного скрапа: упаковочной фольги, банок для напитков, тонкостенных профилей и т. д., а доля алюминиевых деформируемых сплавов с повышенным содержанием Mg в ломах и отходах составит 70 %.

Поэтому проблема рафинирования вторичных алюминиевых сплавов от избыточного Mg, который поступает с ломом деформируемых сплавов, будет оставаться актуальной и дальше.

Классическим методом удаления Mg является обработка расплава криолитом в смеси с хлоридами Na и K. Так как удаление Mg из расплава Al протекает по реакции:



По стехиометрическому расчету реакций для удаления 1 кг Mg требуется 5,8 кг  $2\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . На практике расход криолита возрастает до 12 – 14 кг на 1 кг Mg, температура обработки 800 – 850 °C. Повышенный расход активных реагентов можно объяснить безвозвратными, не вовлеченными в процесс потерями активного реагента на стадии его пребывания на поверхности расплава и неэффективного замешивания, а также неправильным выбором температуры и времени рафинирования [1].

Во вторичной металлургии алюминия используют флюсы (рисунок 1) [1]:

- для очистки расплава от неметаллических и газовых включений;
- для модифицирования;
- для снижения содержания алюминия в шлаке и предотвращения окисления Al во время плавления;
- для очистки алюминиевого сплава от магния;
- для плавки шлаков, банок, стружки в роторных печах.



Рисунок 1 – Применение флюсов

Флюс должен храниться в сухом специально отведенном месте и транспортироваться в закрытых вагонах в герметичной водонепроницаемой упаковке во избежание насыщения влагой. Флюс, подвергнувшийся открытой транспортировке и хранению «навалом» на улице, как правило, содержит от 3 до 10 % воды и 2 – 5 % механических примесей. Для контроля за работой печи, получения оптимального металлургического выхода и сохранения экономических показателей очень важно точное взвешивание флюса. Недостаточное количество флюса приведёт к повышенному окислению металла, а, следовательно, к более низкому металлургическому выходу. Излишнее количество флюса также приведет к дополнительным

потерям металла, увлекаемого вместе с солевым кеком.

При выборе флюсов для плавки алюминия необходимо руководствоваться не только принципами достаточности, как это зачастую бывает, но и принципами эффективности и целесообразности и сознательно управлять процессами плавки алюминия [1].

#### Библиографический список

1. Пискарев Д.В. Флюсы и рециклинг алюминия / Д.В. Пискарев, Д.С. Ульянов, А.В. Тихонов // Цветные металлы. - 2008. - № 3. - С. 89 – 92.
2. Галевский Г.В. Metallургия вторичного алюминия: Учебное пособие для вузов / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. – Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 289 с.
3. Николаев И.В. Metallургия легких металлов / И.В. Николаев, В.И. Москвитин, Б.А. Фомин. – М.: Metallургия, 1997. – 432 с.

УДК 622.273

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУКОКСОВ ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ В ЭЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОРАХ

Амзоров А.С.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Якушевич Н.Ф.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время в связи со значительным повышением цен на кокс электротермические предприятия в России и за рубежом стремятся использовать более дешевые восстановители, которые позволили бы частично заменить кокс.

В качестве восстановителя часто используют бурый уголь, цена на который значительно ниже (примерно на порядок), однако повышенное содержание в углях влаги (до 20%) и летучих веществ (до 50%, из них 20% смолы) негативно влияет на технологический процесс и работу газоочистных сооружений, поэтому предлагается предварительно прокалить бурый уголь при температуре 700 - 750°C. Химический состав бурого угля Кайчакского разреза приведены в таблице 1 [1, С. 176].

Таблица 1 – Химический состав бурого угля Кайчакского разреза

| Марка угля     | Технический анализ, % масс. |       |           |       |
|----------------|-----------------------------|-------|-----------|-------|
|                | $W_t^r$                     | $A^d$ | $V^{daf}$ | $C^d$ |
| Б (Кайчакский) | 31,0                        | 10,2  | 51,3      | 43,9  |

Таблица 2 – Химический состав золы бурого угля [1, С. 177]

|                              | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O |
|------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-------------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Содержание оксидов в золе, % | 11,4             | 5,2                            | 10,3                           | 42,7 | 4,8 | 0,02                          | 0,2              | 8,1             | 0,2              |

В таблице 2 приведен химический состав золы бурого угля Кайчакского разреза. Оценивая качество бурого угля применительно к выплавке ферросилиция следует отметить, что с одной стороны положительным качеством золы является достаточно низкое содержание в ней нежелательных элементов (содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, вносимых на 100 кг углерода, в 2-4, а диоксида титана в 4-10 раз ниже, чем в коксовом орешке), с другой стороны в золе присутствует высокое содержание оксидов кальция и магния, а также серы.

Таблица 3 – Изменение показателей качества бурого угля Кайчакского разреза при нагревании [1, С. 178]

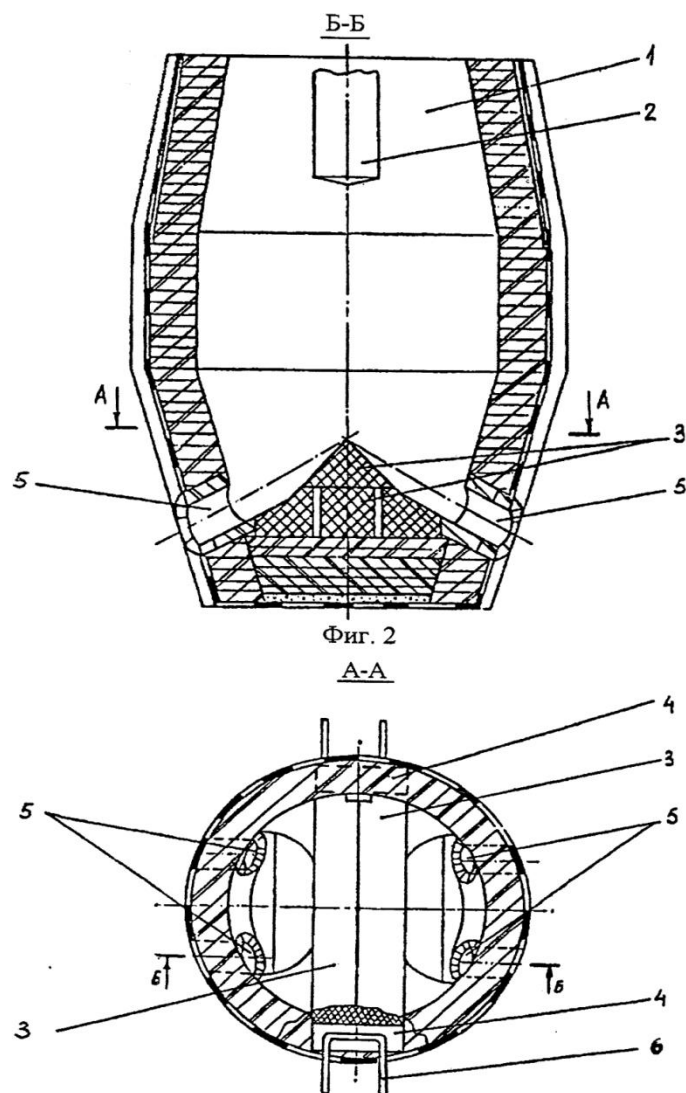
| Показатели                            | Исходный уголь | Температура, °С |       |       |       |
|---------------------------------------|----------------|-----------------|-------|-------|-------|
|                                       |                | 600             | 800   | 900   | 1000  |
| Зольность (A <sup>d</sup> )           | 10,62          | 11,70           | 13,15 | 11,72 | 11,87 |
| Выход летучих (V <sup>daf</sup> )     | 47,55          | 26,68           | 7,66  | 3,80  | 3,77  |
| Содержание серы (S <sup>d</sup> )     | 0,32           | 0,32            | 0,33  | 0,34  | 0,34  |
| Содержание углерода (C <sup>d</sup> ) | 46,9           | 64,7            | 80,2  | 84,9  | 85,1  |

Характерной чертой для бурых углей Кайчакского разреза при их нагревании является довольно значительное изменение выхода летучих веществ (таблица 3), и, если при температуре 600 °С их значение достигает 26,6-27,6%, то уже при температуре 800°С выход летучих веществ снижается до 6,6-7,7%. Следовательно, основной процесс распада и интенсивного выделения летучих веществ, в том числе смольных фракций, у бурых углей заканчивается при 700-750 °С. Аналогично изменяется его удельное электросопротивление.

На ОАО «Кузнецкие Ферросплавы» для решения этой задачи можно использовать электрокальцинаторы, находящиеся в законсервированном цехе по производству электродной массы. В нем установлены три электрокальцинатора для прокали антрацита каждый производительностью 10 тонн в сутки (по антрациту). Электрокальцинатор, содержит вертикальную прокалочную камеру с разгрузочными каналами в ее нижней части, верхний и нижний электроды с соответствующими электроконтактными узлами, нижний электрод выполнен составным из углеродистых блоков, уложенных друг на друга соосно в горизонтальной

плоскости в диаметральной плоскости нижней части прокалочной камеры [2, С. 165].

Футеровка подины алюмосиликатная, угольная. Футеровка стен алюмосиликатная. Диаметр печи наружный 2620 мм. Диаметр печи внутренний (по футеровке) 1920 мм. Полная высота печи 4290 мм. Полезный объем печи 6,6 м<sup>3</sup>. Для нагрева материалов используется электропечной трансформатор ЭОМН-2000/10 мощностью 1000 кВА с автоматическим регулятором рабочего режима [2, С. 166-168].



1 – прокалочная камера; 2 – электрод; 3 – нижний электрод;  
4 – электроконтактный узел; 5 – труботочки

Рисунок 1 – Схематическое изображение электрокальцинатора

Использование электрокальцинаторов для прокалики бурых углей возможно, но поскольку в процессе нагрева выделяется большое количество летучих веществ, в том числе смолянистых фракций, сгорание которых на колошнике печи невозможно из-за низкой температуры, необходимо укрыть колошник сводом и обеспечить сжигание печных газов в камере дожигания,

с последующим охлаждением и очисткой продуктов горения в рукавных фильтрах.

В электрокальцинаторах бурый уголь нагревается до температуры 700 - 750 °С и выдерживается 30 мин., это вдвое быстрее по времени, и примерно в полтора раза меньше по температуре, чем при прокалке антрацита, поэтому производительность возрастает более чем в два раза.

Производительность трех электрокальцинаторов полностью обеспечит потребности ОАО «Кузнецкие Ферросплавы» в полукоксе при выплавке ферросилиция марок ФС45%, ФС65.

Предлагаемое решение позволит достичь в результате замены 40% кокса полукоksom в производстве ферросилиция марок ФС45, ФС65, значительного экономического эффекта.

#### Библиографический список

1. Матвеева И.И. Справочник химика-энергетика / И.И. Матвеева; 2-е изд., доп., и перераб. – М.: Энергия, 1972. – 357 с.
2. Производство ферросилиция: справочник / Под ред. Ю.П. Снитко. – Новокузнецк, 2000. – 426 с.

УДК 622.6

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Гарбузова А.К., Слепкина Н.В.**

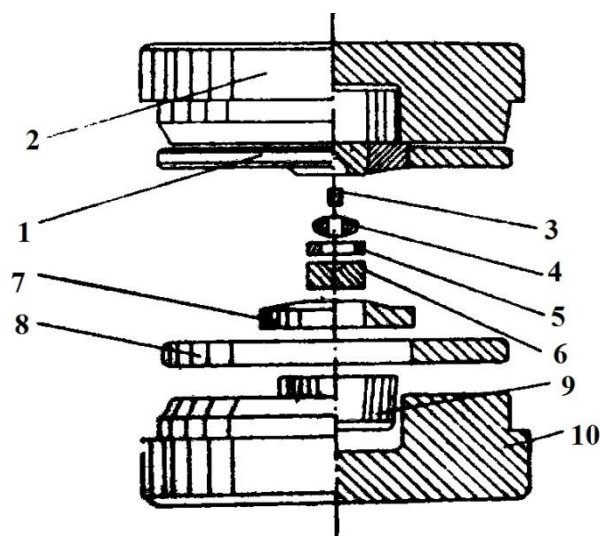
**Научный руководитель: д.т.н., профессор Галевский Г.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Одна из важных особенностей современного научно-технического прогресса – широкое применение сверхтвердых материалов. Среди них ведущее место принадлежит синтетическому алмазу и кубическому нитриду бора, которые благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам совершили подлинную технологическую революцию в металлообработке, получили распространение в промышленной практике. Производство этих материалов в отечественной технологии осуществляется при помощи аппаратов высокого давления (АВД) с углублениями на торцах (типа «чечевицы»). Целью данного доклада является ознакомление с устройством АВД и рассмотрение его основных характеристик. В настоящее время совершенствование АВД является важной задачей, а данная тема является очень актуальной.

Общее устройство аппарата типа «чечевица» представлено на рисунке 1 [1].





1 – блок-матрица, 2 – опорная плита, 3 – нагреватель, 4 – контейнер, 5 – муфта, 6 – матрица, 7 – кольцо скрепляющее внутреннее, 8 – кольцо скрепляющее наружное, 9 – вставка твердосплавная, 10 – корпус

Рисунок 1 – Общее устройство типа «чечевица»

Аппарат состоит из двух матриц с углублениями плавной сферической формы на рабочих поверхностях, контейнера для реакционной шихты, нагревателя и двух опорных плит. Матрицы скреплены многослойными кольцами. Для теплоотвода на блок-матрицы одеваются охлаждаемые водой холодильники. Аппарат приводится в действие от гидравлического пресса. Диапазон рабочих давлений в аппарате составляет 50 – 100 кбар в зависимости от формы углубления. Рабочая температура в реакционной зоне может достигать 2800 К. Срок службы матриц зависит от применяемого давления. При сдавливании материал контейнера начинает продавливаться в зазор между краями лунок, далее создается такое давление, что растекание материала контейнера прекращается. Пресс продолжает сжимать блок-матрицы, генерируя давление уже в реакционной зоне [1].

До настоящего времени описывались следующие характеристики:

1. Геометрические. К ним относятся объем полости высокого давления (реакционной зоны) и удельный объем.

2. Температурные поля рабочей камеры высокого давления. Из-за большой теплопроводности блок-матрицы в реакционной зоне есть значительный температурный градиент. В центральной части температура выше, к периферии она уменьшается.

3. Давление синтеза и его определяющие факторы.

$$P_c = P_o + \Delta P_{тр} + \Delta P_{конт} - \Delta P_{ср} - \Delta P_{газ} - \Delta P_{ф.п.} - P_t^{ABД} \quad (1)$$

$P_c$  - суммарное давление синтеза;

$P_o$  - давление при комнатной температуре;

$\Delta P_{тр}$  - прирост давления в результате термического расширения шихты;

$\Delta P_{конт}$  - прирост давления в результате термического расширения

контейнера;

$\Delta P_{cp}$  - уменьшение давления за счет превращений в среде, передающей давление;

$\Delta P_{газ}$  - уменьшение давления из-за негерметичности полости выхода газов области высокого давления;

$\Delta P_{ф.п.}$  - уменьшение давления в результате фазовых превращений в шихте;

$P_t^{ABD}$  - уменьшение давления за счет разогрева блок-матриц.

Наряду с выше описанными характеристиками, с точки зрения технологии процесса, очень важными являются электротермические характеристики АВД. К ним относятся удельная электрическая мощность и скорость нагрева шихтовых материалов. При этом значение удельной мощности определяет скорость нагрева. При получении СТМ важен нагрев шихты до достаточно высоких температур за очень короткий промежуток времени.

Например, для нагрева реакционной камеры на 1 градус требуется электрическая мощность около 1 Вт, а температура в реакционной ячейке практически не зависит от давления. Для АВД с объемом реакционной камеры 0,88 см<sup>3</sup> опытным путем был определен минимально допустимый предел электрической мощности, обеспечивающий превращение графита в алмаз и равный 3,3 кВт. Если отнести её к объему реакционной камеры, то получится значение минимально допустимой удельной электрической мощности:  $W_{уд} = 3,3 \text{ кВт}/0,88 \text{ см}^3 = 3,75 \text{ кВт}/\text{см}^3$  (объем реакционной камеры ограничивается внешними размерами нагревателя при косвенном нагреве реакционной смеси или её объемом при непосредственном электрическом нагреве). Это значение удельной электрической мощности очень велико и не свойственно более никакому другому электротермическому процессу. Рассмотрим, для чего нужна такая огромная удельная электрическая мощность при синтезе алмаза [2].

Количество теплоты  $Q$ , поглощенное веществом при нагреве, определяется из уравнения:

$$Q = mC\Delta t = \gamma VC\Delta t, \quad (2)$$

где  $m$  – масса вещества, г;

$C$  – теплоемкость вещества, Дж/(г· К);

$\Delta t$  – разность его конечной и начальной температур, °С;

$\gamma$  – плотность вещества, г/см<sup>3</sup>;

$V$  – объем вещества, см<sup>3</sup>.

Количество теплоты  $Q$ , сообщаемое веществу при электрическом нагреве, определяется из уравнения:

$$Q = q \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \cdot \tau \quad (3)$$

где  $q$  – тепловой эквивалент электрической энергии, равный 1 Дж на 1 Вт с;

$U$  – напряжение, В;

$I$  – значение электрического тока, А;

$\cos\varphi$  – коэффициент тока ( при синтезе алмаза примерно равно 1);

$\tau$  – время, с.

Приравнивая правые части уравнений (1) и (2) получим скорость нагрева вещества  $J$  [ $^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ]:

$$J = \Delta t / \tau = (qUI\cos\varphi) / (\gamma VC) = (q / \gamma C) \cdot (W / V) = KW_{\text{уд}} \quad (4)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности.

Исходя из того, что при синтезе алмаза электрическому нагреву подвергается в основном графит, имеющий плотность  $\gamma = 1,65 \text{ г}/\text{см}^3$  и теплоемкость  $C = 2,09 \text{ Дж}/(\text{г}\cdot\text{K})$  при температурах  $\geq 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также принимая, что процесс нагрева является адиабатическим, можно рассчитать значение минимальной скорости нагрева графита, обеспечивающей синтез алмаза в реакционной камере объемом  $0,88 \text{ см}^3$ :

$$J = (q / \gamma C) \cdot W_{\text{уд}} = (1 / 1,65 \cdot 2,09) \cdot 3750 = 1088 (^{\circ}\text{C}/\text{с}).$$

Это означает, что минимальная скорость нагрева графита, обеспечивающая его превращение в алмаз в составляет  $1088 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$  [2]. На нагрев сверхтвердых материалов требуются большие значения количества теплоты, которые можно получить, применяя добавки, так называемые катализаторы процесса.

Если  $\text{Mn}$  в шихте  $1,44 \text{ г}$ , а  $\text{Ni}$   $0,94 \text{ г}$ , то тепло, затраченное на нагрев и расплавление  $\text{Mn}$  при  $T_{\text{ж}} = 1508 \text{ К}$ :

$$Q = \int_{258}^{1000} C_p^{\text{Mn}(2)} dT + 2240 + \int_{1000}^{1374} C_p^{\text{Mn}(\beta)} dT + 2280 + \int_{1374}^{1410} C_p^{\text{Mn}(\delta)} dT + 1800 + \int_{1410}^{1508} C_p^{\text{Mn}(\text{ж})} dT \quad (5)$$

$$Q = \int_{298}^{1000} (23,86 + 14,5 \cdot 10^{-3} T - 1,549 \cdot 10^{-5} T^2) dT + 2240 + \int_{1000}^{1374} 34,88 + 2,763 \cdot 10^{-3} T) dT + 2280 + \int_{1374}^{1410} 44,8 dT + 1800 + \int_{1410}^{1508} 47,311 dT = 56710,26 \text{ Дж};$$

$$Q_{\text{Mn}} = \frac{1,41 \cdot 56710,26}{54,94} = 1455,4 \text{ Дж}.$$

Тепло, затраченное на нагрев и расплав  $\text{Ni}$  при  $T = 1725 \text{ К}$ :

$$Q = \int_{258}^{631} C_p^{\text{Ni}(2)} dT + \int_{631}^{1680} C_p^{\text{Ni}(\beta)} dT + \int_{1680}^{1725} C_p^{\text{Ni}(\text{ж})} dT + 140; \quad (6)$$

$$Q = \int_{298}^{631} (7,8 + 1 \cdot 10^{-3} T - 2,23 \cdot 10^{-5} T^2) dT + \int_{1680}^{1725} 9,3 dT + 140 = 7298,4 \text{ Дж};$$

$$Q_{\text{Ni}} = \frac{0,94 \cdot 7298,4}{58,69} = 116,9 \text{ Дж}.$$

По данным расчета видно, что применение  $\text{Mn}$  и  $\text{Ni}$  приводит к снижению энергетических затрат на синтез.

Сравнивая расчетные данные и технические характеристики аппаратов высокого давления, используемых в настоящее время, можно сделать вывод об их соответствии. При совершенствовании и разработке АД нужно учитывать в первую очередь электротермические характеристики.

#### Библиографический список

1. Галевский Г.В. Физико-химические основы технологии каталитического синтеза сверхтвердых материалов: текст лекций / Г.В. Галевский, А.М. Германский. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1987. – 36 с.
2. Дигонский С.В. Неизвестный водород / С.В. Дигонский, В.В. Тен. – СПб.: Наука, 2006. – 292 с.

УДК 622.655

### **СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО БОРИДА ХРОМА: ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ, АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

**Терентьева М.А.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Руднева В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В последние годы большое внимание уделяется получению новых синтетических материалов, способных работать в условиях одновременного воздействия высоких температур, нагрузок и агрессивных сред. Одним из таких материалов является диборид хрома  $\text{CrB}_2$ .

Высокая твердость и износостойкость, жаропрочность и химическая инертность борида способствуют получению покрытий, хорошо противостоящих абразивному износу, химической и газовой коррозии. Сочетание этих свойств делает борид хрома достаточно востребованным в технологиях наплавки композиционных жаропрочных и износостойких покрытий, плазменного напыления, порошковой металлургии. Проведенный анализ научно-технической и патентной литературы подтверждает высокий и устойчивый интерес к производству и применению борида хрома со стороны исследователей и технологов как в отечественной, так и в зарубежной металлургии.

Среди известных способов получения борида хрома, описание и анализ которых приведен в [1], ведущее место занимает магниетермическое восстановление хлоридсодержащей шихты, реализуемое в промышленных масштабах в условиях ОАО «КМК «Сибэлектросталь»» (г. Красноярск) [2].

Целью настоящей работы является анализ промышленного производства борида хрома магниетермическим восстановлением хлоридсодержащей шихты, определение его технико-экономических

показателей и физико-химическая аттестация получаемого борида.

### Сырье для производства борида хрома

Для получения борида хрома используются:

- безводный хлорид хрома (ТУ 6-09-02-269-77, изм.), полученный хлорированием оксида хрома, с содержанием 80-95 %  $\text{CrCl}_3$ ;
- металлический магний (марки МГ96, ГОСТ 804-72, изм.), обработанный в 3-5%-ном растворе соляной кислоты для удаления с его поверхности оксидной пленки;
- борный ангидрид (марки ЧДА ГОСТ 10068-62, изм.) или аморфный бор (МРТУ 6-02-292-64, изм.).

Основные свойства компонентов шихты и продуктов боридообразования приведены в таблице [3].

Таблица – Основные свойства компонентов шихты и продуктов боридообразования

| Название и формулы веществ      | Цвет                         | Плотность при н.у., кг/м <sup>3</sup> | Температуры, К |         | Растворимость в воде, г/л |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------|---------------------------|
|                                 |                              |                                       | плавления      | кипения |                           |
| Трихлорид хрома $\text{CrCl}_3$ | Фиолетовый или темно-зеленый | 2870                                  | 1425           | 1573    | Слабо растворим           |
| Бор В                           | Темно-коричневый или черный  | 2340                                  | 2573           | 3931    | -                         |
| Магний Mg                       | Серебристо-белый             | 1740                                  | 922            | 1363    | -                         |
| Диборид хрома $\text{CrB}_2$    | Серый                        | 5220                                  | 2573           | -       | Нерастворим               |
| Дихлорид магния $\text{MgCl}_2$ | Бесцветный                   | 2316                                  | 986            | 1685    | 543                       |

Чистый безводный трихлорид хрома получают путем хлорирования оксида хрома газообразным хлором. Хлорирование начинается при 873 К и эффективно протекает в интервале температур 1173-1223 К с одновременной возгонкой образующихся паров треххлористого хрома.

В условиях ОАО «КМК «Сибэлектросталь»» для осуществления процесса хлорирования в промышленном масштабе разработана конструкция установки, состоящей из шахтного хлоратора с реактором из коксованной анодной массы и теплоизоляцией из оксида хрома, высокотемпературного конденсатора с аналогичной футеровкой и низкотемпературного конденсатора с футеровкой из оксида хрома на жидком стекле. Однако выход хлорида хрома не превышает 78 %. Поэтому,

с целью увеличения выхода хлорида хрома и снижения содержания примесей в нем получение безводного трихлорида хрома осуществляют хлорированием оксида хрома в присутствии восстановителя при введении в шихту порошка металлического хрома. Это позволяет повысить выход целевого продукта с 78% до 95,2%, снизить содержание примесей в нем, %: железа до 0,018 (против 0,1), алюминия до 0,01 (против 0,24-0,45), магния до 0,012 (против 0,15-0,25) и кремния до 0,02 (против 0,10-0,15).

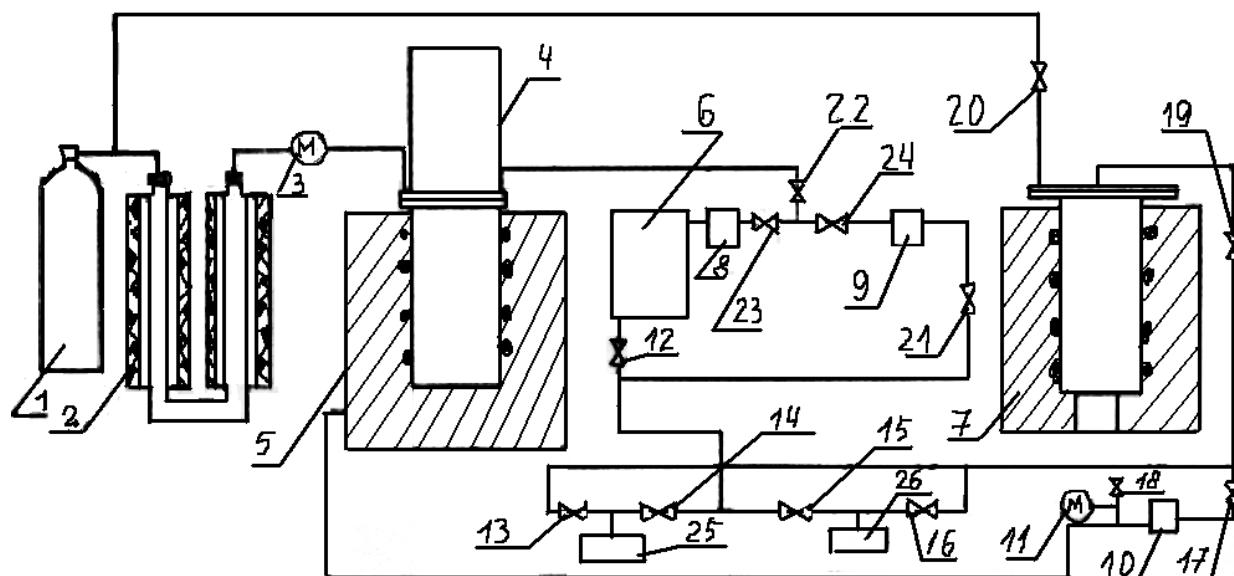
### Производство бориды хрома

Процесс получения бориды хрома можно представить следующей реакцией:



Технология производства включает в себя следующие операции: приготовление шихты, смешивание шихты, брикетирование, загрузка и дегазация шихты, восстановление и слив солевого расплава, вакуумная дистилляция, извлечение порошковой губки, измельчение, истирание и рассев порошка.

Схема установки для получения бориды хрома представлена на рисунке и включает следующие основные узлы [2]:



- 1 – баллон с аргоном; 2 – печь очистки аргона; 3, 11 – манометры;  
 4 – аппарат сепарации; 5 – эл. печь; 6 – диффузионный насос;  
 7 – аппарат восстановления; 8, 9, 10 – ловушки; 12-24 – вентили;  
 25-26 – форвакуумный насос

Рисунок – Схема установки для получения бориды хрома магнетермическим восстановлением хлоридсодержащей шихты

– аппарат восстановления и сепарации;

- электропечи восстановления и сепарации;
- вакуумные и паромасляные насосы, вакуумные коммуникации и вентили;
- узлы сушки и очистки аргона.

Основным узлом является аппарат восстановления.

В промышленных условиях 100 кг бориды хрома получают магниетермическим восстановлением смеси, состоящей из 215 кг хлорида хрома, 30 кг аморфного бора и 51 кг металлического магния. Трихлорид и бор смешивают в смесителе с титановыми шарами без металловосстановителя (магния) в течение 3,5-4 часов в среде инертного газа – аргона (расход аргона 2,0-2,5 м<sup>3</sup>/ч). Магний подается в расплавленном виде. Безводный трихлорид хрома имеет малый удельный насыпной вес и занимает большой объем в реакторе. Поэтому более целесообразно применение брикетированной хлоридсодержащей шихты. Брикетирование трихлорида хрома осуществляется при давлении 98,0665 МПа. Размер брикетов составляет 0,05-0,1 м, а плотность 2500 кг/м<sup>3</sup>. Просыпь мелочи (менее 0,05 м) составляет 10-15 %, которая после отсева, через дезинтегратор, возвращается на брикетирование. Размер цилиндрических прессовок составляет 0,1х0,1 м.

Перед проведением процесса восстановления на дно реторты загружают хлористый натрий в количестве 15-20 кг. В реактор подают инертный газ (аргон) с избыточным давлением 15,198 кПа (расход аргона 1,5 м<sup>3</sup>/ч). После нагрева печи до 1073 К производят загрузку 25 кг брикетов, содержащих 105% от стехиометрически необходимого бора и трихлорида хрома. Для восстановления 25 кг брикетированной шихты требуется 5 кг магния (110% от стехиометрически необходимого). Загрузка производилась постепенно через каждые 20-30 минут. При восстановлении выделяется большое количество тепла, которое повышает температуру реагирующей смеси. Это в значительной степени способствует взаимодействию бора и хрома.

В результате магниетермического восстановления трихлорида хрома образуется губка и хлористый магний, который периодически сливается из аппарата в ковш при температуре 1123 К.

После окончания восстановления образуются фазы, соответствующие CrV<sub>2</sub> и CrV. При достижении температуры 1373 К и выдержке 3-4 часа на рентгенограммах обнаруживается лишь фаза, соответствующая CrV<sub>2</sub>.

Порошок отделяется от побочного продукта (солевого расплава) путем вакуумной сепарации, проводимой при температуре 1073-1223 К и остаточном давлении 1,33 – 0,133 Па в течение 40 часов с последующей гидрометаллургической обработкой. Побочные продукты сепарации интенсивно испаряются, а порошок бориды хрома остается в твердом состоянии. После окончания дистилляции печь отключается и происходит охлаждение аппарата с одновременной откачкой в течение 1-2 часов. После этого в аппарат подается аргон до избыточного давления 10,132 – 15,198

кПа с одновременным напуском воздуха в печь. После демонтажа коммуникаций аппарат устанавливается в специальный холодильник, в котором он охлаждается, а затем направляется на демонтаж и выборку порошка. Сушку влажного порошка боридов осуществляли в сушильных шкафах при остаточном давлении 13,33 Па.

Сопоставлением результатов химического и рентгенофазового анализов установлено, что образование боридов хрома в основном осуществляется в процессе восстановления смеси трихлорида хрома и бора металлическим магнием при температуре 923 К. При этом количество свободного, не связанного с хромом бора в бориде составляет 2,12-2,35% масс. Дальнейшее увеличение температуры и времени выдержки приводит к уменьшению количества несвязанного бора.

Результаты гранулометрического анализа порошка боридов хрома свидетельствуют о содержании в порошке частиц класса менее 160 мкм составляло 82,62% масс. В полученном порошке наряду с дихлоридом хрома  $\text{CrB}_2$  присутствует моноборид  $\text{CrB}$ .

Расчет расходных коэффициентов проводили по реакции (1) для содержания, % масс.:  $\text{CrB}_2$  – 98,0; Mg – 96,0; В – 94,0;  $\text{CrCl}_3$  – 95,0. Расходные коэффициенты составляют, кг/1000 кг  $\text{CrB}_2$ :

- по треххлористому хрому 2209,5;
- по бору 309,9;
- по магнию 501,89.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что технология производства боридов хрома магнетермическим восстановлением бор- и хлоридсодержащей шихты является в настоящее время единственной, реализуемой на промышленном уровне, обеспечивает получение дихлорида хрома технической чистоты в виде порошка крупностью – 160 мкм, применяемого главным образом в процессах наплавки и плазменного напыления композиционных жаропрочных и износостойких покрытий.

#### Библиографический список

1. Серебрякова Т.И. Высокотемпературные бориды: учеб. для вузов / Т.И. Серебрякова, В.А. Неронов, П.Д. Пешев. - М.: Металлургия, Челябинское отделение, 1991. - 368 с.
2. Освоить технологический процесс получения чистых порошков хрома, марганца и легированных сталей восстановлением хлоридов: отчет о НИР / ИМЕТ АН ГССР; рук.: к.т.н. Ю.М. Картвелишвили. - Тбилиси-Красноярск, 1985.
3. <http://ru.wikipedia.org> – [Электронный ресурс]. – Загл. экрана. 15.03.2011.



## ПОДГОТОВКА ШИХТОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА КРЕМНИЯ

**Гостевский А.А., Кызласов Е.С., Алмазов К.А.**

**Научные руководители: д.т.н., профессор Якушевич Н.Ф.,  
к.т.н., доцент Полях О.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Получение карбида кремния за счет восстановления диоксида кремния углеродом по реакции (1), протекающей при высоких температурах (> 2000К) связано с образованием большого количества газообразных продуктов (CO, SiO).



Это связано с необходимостью обеспечить в процессе синтеза хорошую газопроницаемость твердофазных реагентов, в связи с этим желательно использовать крупные шихтовые материалы. С другой стороны для обеспечения высоких скоростей реакции, хорошего смешения реагентов желательно использовать более мелкие материалы, однако при этом необходимо учитывать повышенный улет мелкодисперсных материалов с газовой фазой. Также необходимо использовать более мелкие шихтовые материалы для недопустимости образования жидкофазных продуктов в локальных местах с недостаточным количеством углерода и, как следствие, спекания шихты и образования свищей. На практике для производства карбида кремния в печах Ачесона мощностью до 5,5 МВА используют пески и кварциты фракции 0,5-3 мм и коксы фракции <2мм.

Особое внимание следует уделять примесям в шихтовых материалах (CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.), которые испаряясь в зоне высоких температур (>2000К) затем конденсируются в зоне температур 1600-1200К, образуя с диоксидом кремния легкоплавкие эвтектики образующие с шихтой плотные корки (сростки).

Для проведения эксперимента, в качестве кремнеземсодержащего компонента, использовались отсеvy кварцита «КЗФ» фракции -10 мм, которые не участвуют в производстве ферросплавов и являются отходами производства.

Таблица 1 – Химический состав кварцита «КЗФ»

| Компоненты    | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | MnO   | Σ      |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|--------|
| содержание, % | 98,9             | 0,36                           | 0,35                           | 0,11             | 0,039 | 99,759 |

Для получения нужной фракции кварцит измельчался в дробилке,

после отсеивался, а для удаления глинистых примазок кварцит отмывался.

Для синтеза карбида кремния использовался отмытый кварцит фракции 2-5 мм, в котором фактическое содержание диоксида кремния составляло  $\approx 97\%$ . Данные по рассеву и отмывке 10 кг кварцита приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание  $\text{SiO}_2$  в кварците «КЗФ»

| Фракция, мм | До и после отмывки | Массовая доля $\text{SiO}_2$ , % |
|-------------|--------------------|----------------------------------|
| Более 10    | грязный            | 97,25                            |
|             | чистый             | 97,64                            |
| 7 – 10      | грязный            | 97,36                            |
|             | чистый             | 97,39                            |
| 5 – 7       | грязный            | 97,17                            |
|             | чистый             | 97,39                            |
| 3,5 – 5     | грязный            | 96,28                            |
|             | чистый             | 96,76                            |
| 2 – 3,5     | грязный            | 92,83                            |
|             | чистый             | 97,69                            |
| Менее 2     | грязный            | 88,48                            |
|             | чистый             | 94,65                            |

Кварцит фракции 0-2 мм не использовался из-за высокого содержания примесей.

В качестве углеродистого восстановителя использовался коксик для ферросплавного производства на ОАО «Кузнецкие ферросплавы».

Таблица 3 – Состав кокса

| Вид сырья | Технический анализ, % |       |           |       |
|-----------|-----------------------|-------|-----------|-------|
|           | $C^r$                 | $W^r$ | $V^{daf}$ | $A^d$ |
| Кокс      | 82,69                 | 3,59  | 3,49      | 10,42 |

Таблица 4 – Химический состав золы

| $\text{SiO}_2(\%)$ | $\text{Al}_2\text{O}_3(\%)$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3(\%)$ | $\text{CaO}(\%)$ | $\text{MgO}(\%)$ |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|
| 69,38              | 19,06                       | 4,72                        | 2,4              | 1,38             |

Использовался кокс фракции 0,4 - 2 мм.

Соотношение компонентов шихты было подобрано по стехиометрии, исходя из реакции (1), и составило 1,7 (кварцит / коксик).

Состав продуктов синтеза по данным химического анализа лаборатории СибГИУ приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав продуктов

| Проба \ Элем.                       | C <sub>своб</sub> (%) | Si <sub>эл</sub> (%) | SiO <sub>2(своб)</sub> (%) | SiC(%) |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|--------|
| Блок карбида кремния                | нет                   | 1,06                 | 1,61                       | 92,8   |
| Мелкокристаллический карбид кремния | 11,63                 | 1,32                 | 6,53                       | 75,73  |
| Непрореагировавшая шихта            | 25,4                  | 1,57                 | 52,22                      | 11,6   |

Для получения более качественного карбида кремния в настоящей работе использовались материалы высокой чистоты и более мелкого гранулометрического состава, которые предварительно брикетировались в подогреваемой пресс-форме.

В качестве кремнеземсодержащего материала использовалась белая сажа БС-100 (по ГОСТ 18307-78), крупностью 0,5-5 мкм, а в качестве углеродистого восстановителя углерод технический П-803 (по ГОСТ 7885-86), крупностью 1-10 мкм.

Таблица 6 – Химический состав сажи белой БС-100

| Компоненты    | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO+MgO | Влага | ППП |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|-------|-----|
| Содержание, % | 89,2             | 0,07                           | 0,03                           | 0,3     | 4,9   | 5,4 |

Таблица 7 – Состав углерода технического П-803

| Вид сырья           | Химический состав в % |                |                  |                |
|---------------------|-----------------------|----------------|------------------|----------------|
|                     | C <sup>daf</sup>      | W <sup>r</sup> | V <sup>daf</sup> | A <sup>d</sup> |
| Углерод технический | 99,3                  | 0,15           | 0,55             | 0,7            |

Для получения однородной шихты смешивание производилось в шаровой мельнице, в которую сначала вводился углерод с водой и домалывался в течение 3 часов. После этого в мельницу добавляли сажу белую, в количестве соответствующем стехиометрическому и крахмал в качестве связующего (7% масс.) и перемешивали в течении 5 часов.

После равномерного перемешивания шихты ее прессовали и сушили в подогреваемой пресс-форме. Размеры брикетов шихты составляли 3-6 мм, что обеспечивает хорошую газопроницаемость и положительно влияет на процесс образования и роста кристаллов карбида кремния.

Брикетированная шихта прокаливалась для удаления влаги в сушильном шкафу при температуре 300<sup>0</sup>С в течении 2 часов.

Механическая прочность просушенных брикетов Ø 5 мм составила 1,7кг/брикет. Насыпная плотность данных брикетов составила 300 кг/м<sup>3</sup>. Плотность брикета составила 400 кг/м<sup>3</sup>.

#### Библиографический список

1. Порада А.Н. Электротермия неорганических материалов / А.Н.

Порада, М.И. Гасик. – М.: Металлургия, 1990. – 231 с.

2. Гаршин А.П. Абразивные материалы / А.П. Гаршин, В.М. Гропянов, Ю. В. Лагунов. – Л.: Машиностроение, 1983. – 342 с.

3. Ершов В.А. Электрические процессы химической технологии: учеб. пособие для вузов / В.А. Ершов. – Л.: Химия, 1984. – 464 с.

УДК 669.046:621.762.224

## **ГРАНУЛЯТОР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ МЕЛКОГО РАЗМЕРА**

**Кискоров В.С., Кузнецов Е.В.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Якушевич Н.Ф.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Изготовлен гранулятор, предназначенный для получения окатышей диаметром менее 5 мм из мелких порошкообразных концентратов и шихтовых смесей.

Гранулятор представляет собой неподвижный барабан диаметром 0,17 и длиной 0,2 м с переменным фиксируемым углом наклона (0 – 45 градусов) с вращающимися внутри барабана бегунами, перемещающий окатышаемый материал от загрузочного отверстия до концевой разгрузки.

Вращение рамочных бегунов осуществляется при помощи электромеханического привода со скоростью 30 об/мин.

Загрузка материала осуществляется периодически или непрерывно через загрузочный бункер, расположенный на торцевой стенке гранулятора со стороны привода.

Скорость перемещения материала по внутренней стенке барабана регулируется за счет изменения угла наклона барабана. Для регулирования размера окатышей на стороне разгрузки установлен эксцентрично-дисковый затвор, регулирующий высоту порога, через который перекатываются готовые окатыши заданного диаметра.

Связующие материалы задаются в шихтовую смесь в твёрдом виде (бентонит, мука, цемент, крахмал и др.), либо в виде жидких (жидкое стекло, ССБ, милесса, бентонит).

Подача жидких растворов осуществляется через дозатор в соответствии с заданным соотношении Т : Ж через одно или несколько отверстий в верхней стенке барабана, в определенные места, положение которых регулируется в зависимости от угла наклона барабана. Возможна подача нескольких связок в различные точки.

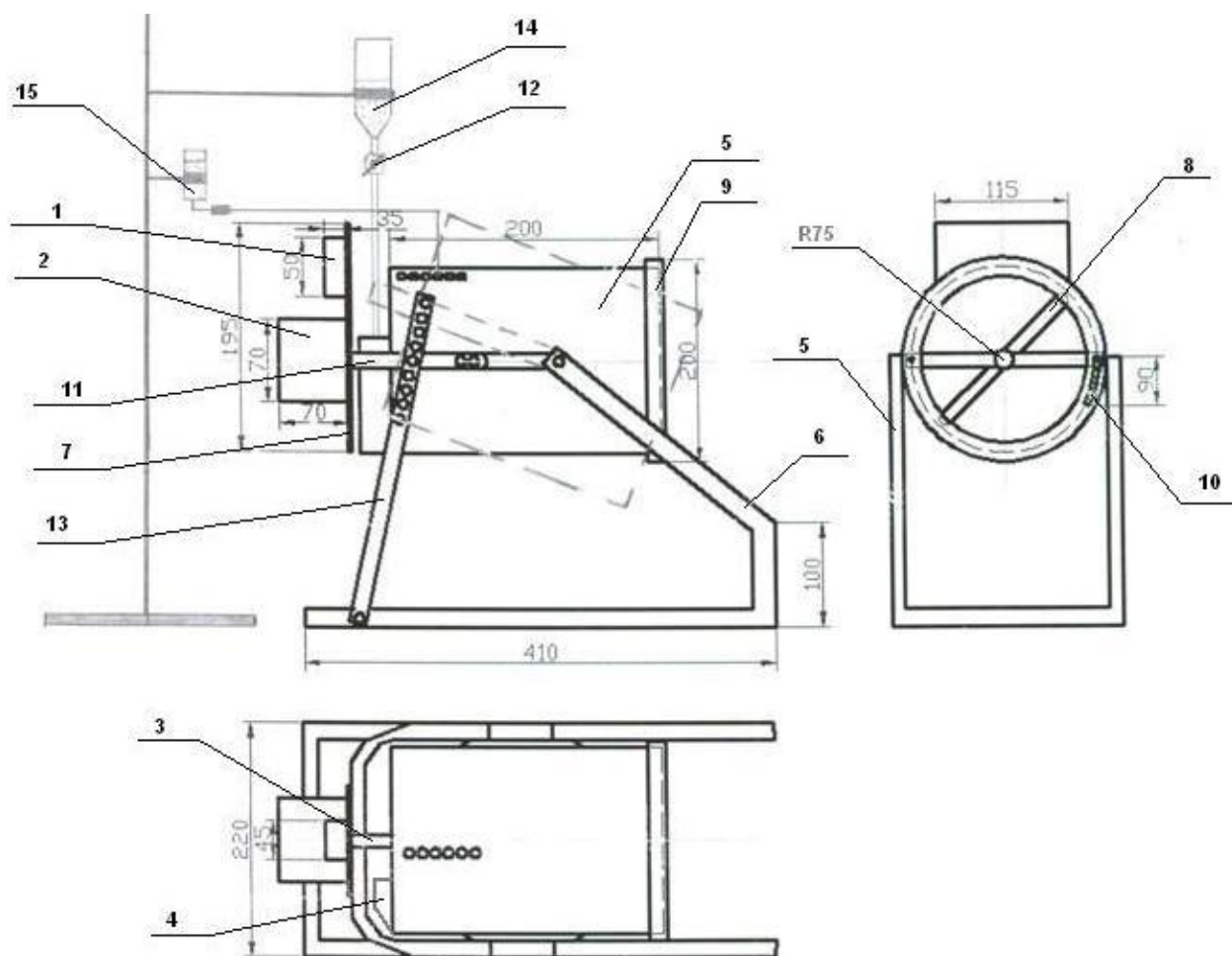
На грануляторе опробовали получение окатышей из железорудных, ильменитовых концентратов, шихтовых смесей из железорудных концентратов и полукоксов из бурых углей.

В качестве связующих, задаваемых в шихтовые смеси в твердом виде, использовались бентонит (1 – 1.5%) , мука + крахмал (5 – 6%), количество воды 9 – 10 % от массы шихтовой смеси, в качестве жидкого связующего использовался водный раствор жидкого стекла плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> в количестве 12 %.

Выход окатышей диаметром 2 – 5 мм составил  $\approx$  40 %.

Гранулятор успешно опробован для окатывания брикетов – таблеток диаметром 4 мм и высотой 5 мм.

Прочность предварительно брикетированных окатышей из смеси железорудного концентрата, бурогоугольного полукокса и бентонита (1,5 %) на 40 % выше, чем у небрикетированных окатышей.



- 1 – конденсатор; 2 – реверсивный ЭД; 3 – муфта для соединения с осью крыльчатки; 4 – карман для засыпки шихты; 5 – корпус; 6 – опора;  
 7 – панель привода; 8 – крыльчатка; 9 – обод; 10 – регулировочная щель;  
 11 – каркас панели привода; 12 – кран; 13 – фиксатор угла наклона корпуса;  
 14 – шихта; 15 – ёмкость для воды

Рисунок – Гранулятор

## ГАЗОВЫЕ РАКОВИНЫ В СТАЛЬНЫХ ОТЛИВКАХ

Лихачева К.А., Чичкова А.Е.

Научный руководитель: с.н.с. Никитин Ю.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет*

*г. Новокузнецк*

*Магнитогорский государственный индустриальный университет*

*г. Магнитогорск*

Газовые раковины составляют наиболее важные и распространенные виды дефектов. Эти дефекты могут обнаруживаться непосредственно после выбивки отливок, на стадии их обрубки, до и после термической обработки, в процессе механообработки и – что более опасно – в процессе эксплуатации машин (в результате поломки литой детали) [1, С. 518 – 558].

Газовые раковины встречаются в мелких, средних и крупных отливках. Они могут располагаться в непосредственной близости от поверхности отливки или находиться на некотором расстоянии от нее. Раковины могут иметь вытянутую форму обычно направленную от поверхности к центру отливки, или приближающуюся к форме шара. Поверхность газовых раковин бывает блестящей или темной – окисленной (рисунок 1).

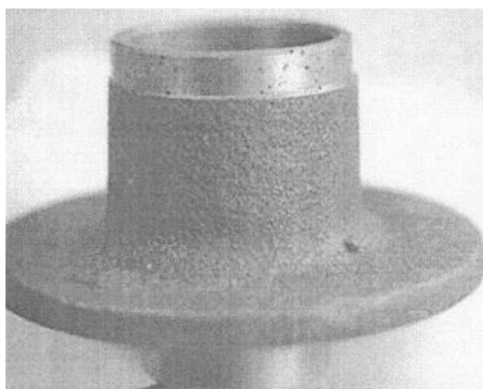


Рисунок 1 – Отливка «Ступица» с гладкими, светлыми раковинами

На отливках с толщиной тела более 50 мм раковины в большинстве случаев располагаются на некотором расстоянии от поверхности и имеют округлую форму, поверхность их почти всегда блестящая. В тонкостенных отливках, особенно изготавливаемых в сырых формах, раковины располагаются у самой поверхности, имеют форму булавочных уколов, направленных к тепловому центру. Когда они соединены с атмосферой, поверхность их окислена. Такой вид дефектов принято называть ситовидной пористостью [2, С. 60 – 83].

Образование этих дефектов происходит в результате протекания комплекса процессов, протекающих при взаимодействии металла с формой.

Газовые раковины образуются в результате двух основных причин:

- механического проникновения газов из формы в металл отливки;
- выделения газов, растворенных в металле, в самостоятельную фазу на границе раздела твердой и жидкой фаз кристаллизующейся отливки.

В процессе заливки металл контактирует с поверхностью формы. В результате теплового воздействия в порах смеси нагревается воздух и дополнительно образуется газ. Чем выше температура смеси и ее газотворная способность, тем интенсивнее газообразование. В связи с тем что выходу газа в атмосферу препятствует, с одной стороны, заполняющий форму металл, а с другой стороны – форма, в порах смеси создается повышенное давление газа. Оно будет тем больше, чем выше температура стали и газотворная способность формы, а также меньше ее фильтрационная способность, зависящая от газопроницаемости материала формы и толщины формы (стержня). Когда давление газа на границе раздела металл-форма  $P_{\phi}$  превысит критическую величину  $P_{кр}$ , он внедрится в тело отливки. Внедрившийся газ может удалиться всплыванием или остаться в толще металла, образуя газовые раковины. Чем выше вязкость металла, зависящая от марки стали и ее температуры, тем труднее газу из него удалиться. Газ может удалиться, когда форма залита неполностью, т.е. имеется открытая поверхность расплава, в противном случае газовые раковины образуются в верхней части тела отливки. Проходящий через толщу металла газ вызывает его барботаж – «кипение», которое можно наблюдать визуально.

При заполнении тонкостенных форм большой протяженности металл теряет температуру и, заполняя отдаленные ее участки, может содержать твердую фазу. В таких случаях внедриться газу из формы в металл значительно труднее, чем при высокой температуре металла. Однако, если такое внедрение все же произошло, газ из вязкого металла уже может не удалиться, образуя газовые раковины. Чем выше температура металла, тем больше газа выделяется с единицы поверхности формы, увеличивая  $P_{\phi}$ . Поэтому в одних участках формы могут быть газовые раковины, а в других – нет. Следовательно, на процесс механического внедрения газа из формы в металл и образования в нем газовых раковин значительное влияние оказывает температура металла в данном конкретном участке формы (рисунок 2).

Выплавленный для заливки литейных форм металл содержит значительное количество газов (водород, азот, кислород) и продуктов раскисления. В процессе разлива стали из ковша содержание в ней водорода обычно остается на прежнем уровне или незначительно возрастает, количество азота практически не меняется, кислорода несколько возрастает, а алюминия понижается. Водород попадает в сталь вследствие использования при плавке ржавого лома, насыщенных газом ферросплавов; использования влажных компонентов шихты. При растворении водорода в жидкой стали газ не выделяется, что объясняется способностью его давать насыщенные растворы. При резком охлаждении стали в процессе заливки в

форму, происходит резкое понижение растворимости водорода и его выделение из пресыщенного раствора в виде газовых пузырьков, образующих впоследствии газовые раковины. При дополнительном воздействии на этот процесс переувлажненной литейной формы, подкорковые раковины переходят в сплошные газовые раковины, пронизывающие почти всю толщину отливки (рисунок 3).

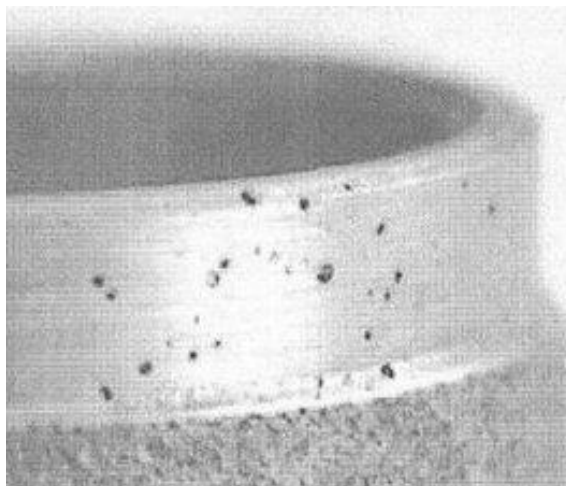


Рисунок 2 – Фрагмент отливки «Ступица» с дефектом

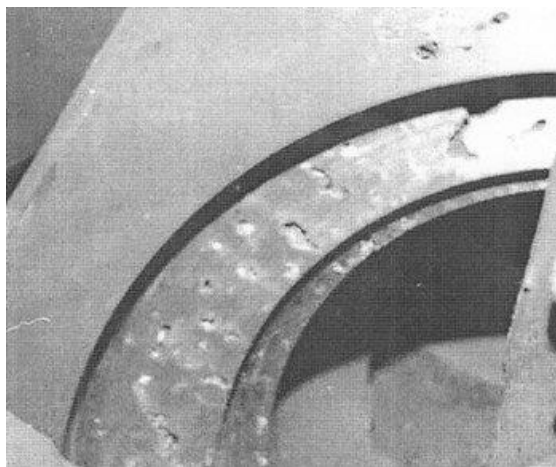


Рисунок 3 – Отливка «Корпус» с газовыми раковинами

В случае газовых раковин, образующихся за счет механического проникновения газа из формы в металл отливки необходимо: обеспечить газопроницаемость форм из песчано-глинистых и жидкостекольных смесей более 100 ед.; обеспечить заданный режим сушки форм и стержней в зависимости от используемого связующего; не применять сырых смесей с влажностью более 6%; не допускать длительного простоя собранных форм, что приводит к увеличению влаги на ее поверхности; обратить особое внимание на вывод газов из стержней 1 и 2-го классов; выполнять налеты в выступающих частях формы и знаках; верхние кромки и особенно углы стержней выполнять с максимальным радиусом закругления или применять



наружные холодильники во избежание образования газовых свищей; желательна установка прибалки над местами возможного «кипения» металла в форме(стержни 1-2 класса).

В случае газовых раковин, образующихся за счет выделения газа в процессе кристаллизации отливки нужно: снизить содержание водорода в металле за счет применения сухих шихтовых материалов, флюсов и ферросплавов; не применять недосушенных ковшей после их футеровки; не применять сырых литниковых огнеупоров; конечное раскисление стали алюминием производить из расчета не менее 1 кг/т; сталь, выплавленную в электропечах, раскислять мелкими кусками алюминия в ковше или алюминиевыми кольцами, закрепленными на стопоре, особенно для ковшей до 10 т; методы остаточного алюминия для мелких отливок более 0,035%, для средних – выше 0,025-0,030%, для крупных – не менее 0,020%; для установления причин брака отливок по газовым раковинам определять содержание в стали остаточного алюминия, в случае недостаточного его содержания брак относить за счет плавильного отделения.

Таблица – Изменение содержания алюминия при разливке стали

| Стадия разливки | Содержание Al(%) в металле плавов |       |       |       |       |       |
|-----------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 1                                 | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| Начало          | 0,039                             | 0,039 | 0,023 | 0,025 | 0,036 | 0,032 |
| Середина        | 0,037                             | 0,037 | 0,023 | 0,023 | 0,033 | 0,030 |
| Конец           | 0,037                             | 0,035 | 0,022 | 0,022 | 0,032 | 0,029 |

Таким образом, снижение брака литья и разработка эффективных техпроцессов является сложной проблемой, требующей значительных профессиональных усилий. Дальнейшее развитие работы для решения поставленного вопроса требует проведения системного анализа, который позволит выявить простоту определения сложных разновидностей дефектов отливок, причин их возникновения и способов предотвращения.

#### Библиографический список

1. Голод В.И. Теория, компьютерный анализ и технология стального литья / В.И. Голод, В.А. Денисов. СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2007. – 610 с.
2. Сулицин А.В. Литейные пороки отливок. Причины возникновения и способы их предупреждения / А.В. Сулицин, Р.К. Мысик, С.В. Брусницын, Е.Л. Фурман. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – 266 с.

## **РАСЧЕТ ПОЛНОГО ВРЕМЕНИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ОБРАБОТАННЫХ ФИЗИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ**

**Деев В.Б., Цецорина С.А., Архипова Е.С.,  
Слободчиков А.В., Кемаев П.А.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Селянин И.Ф.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Производство высококачественной литейной продукции с требуемым уровнем свойств в значительной степени зависит от выбора технологии плавки сплавов, их обработки в жидком состоянии. Для выявления наиболее оптимальной технологии обработки сплавов актуальным является создание методики, позволяющей оценить эффективность различных технологий. Особенное значение данная методика может иметь при использовании внешних модифицирующих воздействий на расплавы при получении литейных сплавов.

В основу методики положено определение параметров кристаллизации сплавов, связанных с жидкотекучестью. Жидкотекучесть литейных сплавов является важнейшим свойством, определяющим получение отливок заданного качества. Величина жидкотекучести зависит от количества твердой фазы, выпадающей вблизи температуры солидус. При определенном содержании твердой фазы расплав перестает течь. Поэтому знание количества твердой фазы, а также полного времени затвердевания сплава имеет существенное значение в процессах производства отливок. Для определения доли твердой фазы, выпадающей вблизи температуры солидус при кристаллизации расплава, и полного времени затвердевания было разработано программное приложение «Расчет количества твердой фазы при кристаллизации металлических расплавов» в среде визуального программирования Delphi 2007.

Для расчета требуются экспериментально определенные жидкотекучесть, температура ликвидус и температура солидус сплавов. Расчеты можно проводить для следующих сплавов: углеродистой стали, чугуна, алюминиевых сплавов различных составов. Справочные данные по теплофизическим свойствам, необходимым для расчетов, заложены в базу данных программы. Базу при необходимости можно дополнять.

Результаты расчетов с помощью программного приложения для сплава АК7ч, полученного из шихты разного состава и обработанного различными физическими (внешними) воздействиями по методикам [1, 2], представлены на рисунке 1 и в таблице 1. Было выявлено, что между экспериментальными и расчетными данными наблюдается хорошая сопоставимость.



Рисунок 1 – Результаты расчета параметров кристаллизации сплава АК7ч в зависимости от состава шихты и вариантов обработки расплава: 1 – исходный (без обработки); 2 – ТВО; 3 – электрический ток; 4 – магнитное поле; 5 – ТВО и электрический ток; 6 – ТВО и магнитное поле

Таблица 1 – Расчетные и экспериментальные результаты по определению доли твердой фазы, выпадающей вблизи температуры солидус, для сплава АК7ч (100 % вторичного сырья), обработанного различными воздействиями

| Вариант | Технология обработки расплава    | Определение $m_{OM}$ (приведенный размер цилиндрической отливки 0,006 м) |        |
|---------|----------------------------------|--|--------|
|         |                                  | эксперимент  | расчет |
| 1       | Исходный расплав (без обработки) | 0,33   | 0,32   |
| 2       | ТВО [1]                          | 0,42   | 0,40   |
| 3       | Магнитное поле [1]               | 0,38   | 0,41   |
| 4       | ТВО + магнитное поле [1]         | 0,40   | 0,44   |
| 5       | Электрический ток [2]            | 0,36   | -      |
| 6       | ТВО + электрический ток [2]      | 0,41   | -      |

Данные таблицы 1 и рисунка 1 свидетельствуют о том, что внешние воздействия оказывают влияние на параметры кристаллизации расплава (полное время затвердевания и доля твердой фазы, выпадающей вблизи температуры солидус, увеличиваются). Расплав после обработки внешними воздействиями способен течь при большей доле образующейся твердой фазы. Результаты исследования жидкотекучести сплавов подтвердили это.

Изучение микроструктуры обработанных физическими воздействиями сплавов показало измельчение ее составляющих. Наблюдалось повышение механических свойств сплава (в среднем):  $\sigma_B$  на 17...25 %;  $\delta$  – на 50...65 %, твердости – на 5...10 %. Жидкотекучесть в среднем увеличилась на 18...25 %.

Таким образом, использование разработанного программного приложения позволяет оценивать эффективность различных внешних воздействий на расплавы. Его можно рекомендовать для прогнозирования качества отливок в промышленных технологиях литья.

#### Библиографический список

1. Деев В.Б. Обработка металлических расплавов перегревом / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, О.Г. Приходько // Монография. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. – 192 с.
2. Башмакова Н.В. Исследование влияния электрического тока на свойства алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. 18 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВОЙ ИНЖЕКЦИОННОЙ ГОРЕЛКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ РАЗОМКНУТОГО ФАКЕЛА**

**Попов А.И.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Коротков С.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Перспективным классом радиационных горелок являются плоскопламенные горелки. Их применение позволяет упростить профиль рабочего пространства печи за счет ликвидации пережимов свода, интенсифицировать нагрев металла за счет устранения низкотемпературных участков под пережимами, а так же обеспечивает высокую равномерность нагрева, гибкость управления тепловым и температурным режимом, благоприятный гидравлический режим рабочего пространства без подсосов воздуха и выбивание дымовых газов.

Однако, при значительном количестве установленных горелок (а на печах большой мощности их число может достигать несколько десятков и даже сотен) конструкция печи чрезмерно осложняется системой трубопроводов для разводки воздуха, что в немалой степени осложняет обслуживание агрегата.

Решением задачи могло бы быть использование инжекционных сожигательных устройств, но в известных конструкциях воздух засасывается за счет энергии прямоочной струи газа, поэтому факел вводится в рабочее пространство виде одномерной свободной струи и организация в этом случае косвенного режима теплообмена слишком затруднительна.

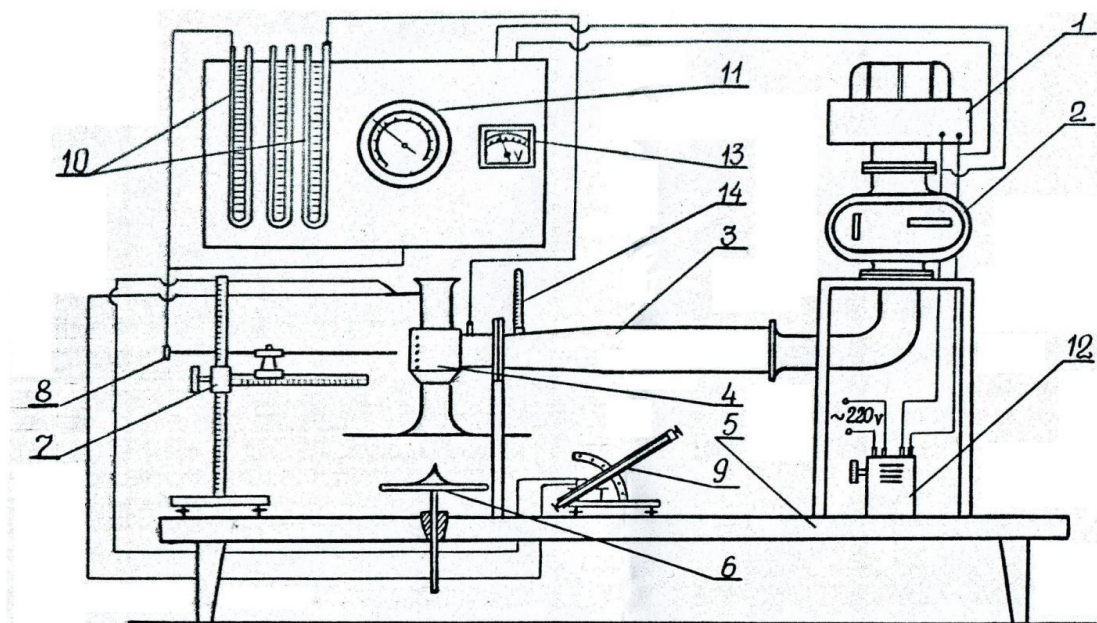
Устройства с вихревым движением газов широко используются в технике. Это объясняется простотой и доступностью их изготовления, сравнительно малыми эксплуатационными затратами. Существенное значение для аэродинамики вихревого устройства имеют геометрические особенности конструктивных элементов, к числу которых следует отнести подвод активного газа, корпус камеры и выход из нее.

В литературе отсутствует достаточно полное описание влияния геометрических параметров конструктивных элементов вихревой горелки в совокупности с горелочным блоком тороидальной формы для создания плоского разомкнутого факела. Однако, особенности распределения давления на поверхности блока с учетом наличия трех составляющих скоростей закрученного потока позволяет сделать предположение, что инжекцию воздуха можно осуществить и непосредственно в проточной части камня.

Целью данной работы является исследование влияния отдельных конструктивных параметров вихревой инжекционной горелки на

формирование разомкнутого факела и разработка, на базе этих исследований, рекомендаций для расширения инжекционной возможности газа – горелочной установки.

Для исследований использовался испытательный стенд (рис. 1) для изотермических продувок опытных моделей.



- 1 – дутьевое устройство; 2 – газовый счетчик; 3 – коллектор; 4 – горелка;  
 5 – рама; 6 – отражатель обратных токов; 7 – координатник;  
 8 – пневмо-метрический зонд; 9 – микроманометр; 10 – U-образный манометр;  
 11 – образцовый манометр; 12 – регулятор напряжения;  
 13 – вольтметр; 14 – термометр

Рисунок 1 – Схема испытательного стенда для изотермических продувок  
стенда

Исследование проводились с горелкой без пережима проточной части. Закрутка потока осуществлялась посредством завихрителя с двумя распределенными шлицевыми окнами тангенциально. Разомкнутый «факел» формировался на тороидальной поверхности (рис. 2) горелочного блока на котором в четырех сечениях выполнены импульсные отверстия (точки отбора) для измерения давлений при работе горелки. Давление измерялось микроманометром ММН – 240. Расход воздуха на продувки устанавливался ротаметром и менялся в пределах от 18,13 м<sup>3</sup>/ч до 30,30 м<sup>3</sup>/ч. Напротив амбразуры горелки (в ряде опытов), с образованием кольцевого зазора устанавливался отражатель обратных токов, форма которого повторяла форму амбразуры. Площадь кольцевого зазора определялась положением отражателя h.

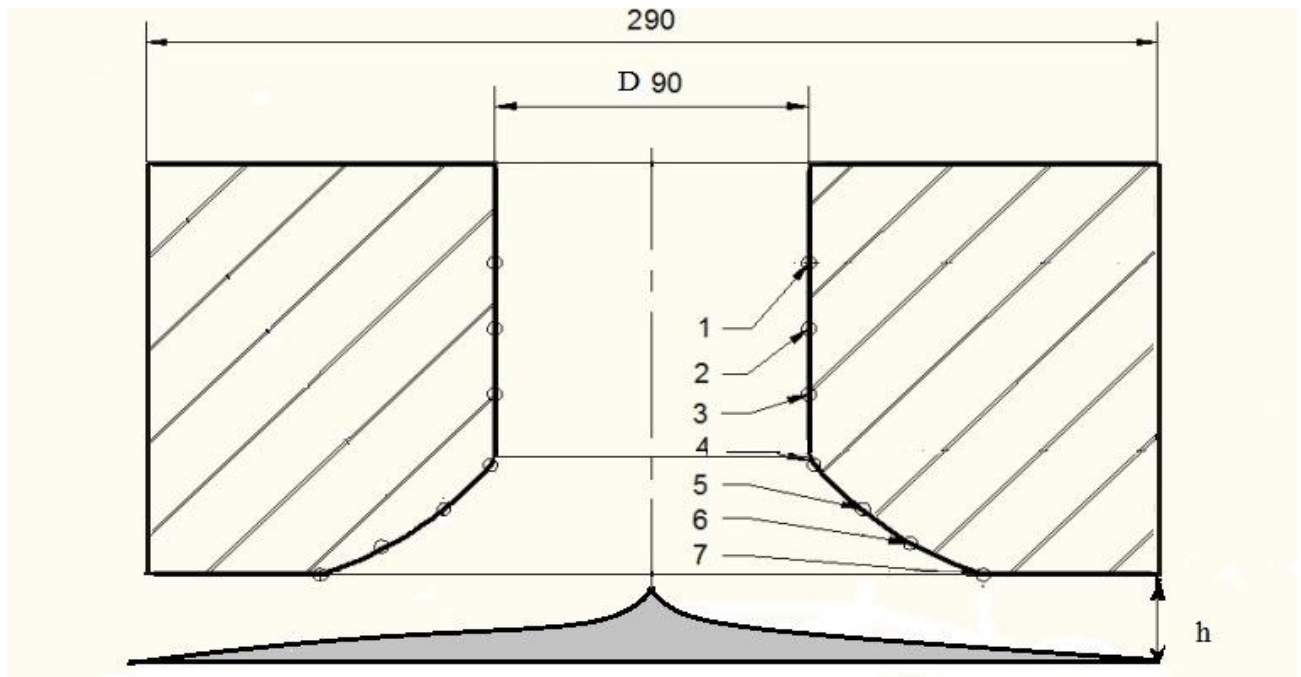


Рисунок 2 – Схема горелочного блока инжекционной горелки

На рисунках 3 и 4 представлено распределение давления по поверхности горелочного блока с отражателем ( $h=10$  мм) с торцевой заглушкой и с не заглушенным торцом.

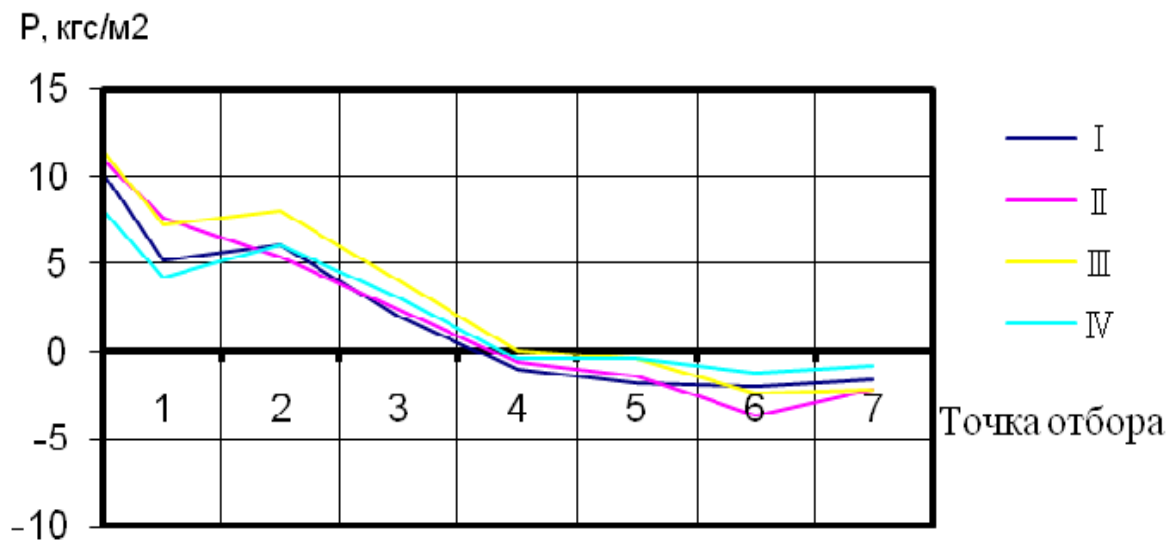


Рисунок 3 – Распределение давления по поверхности горелочного блока с отражателем, при  $h=10$  мм с не заглушенным торцом.

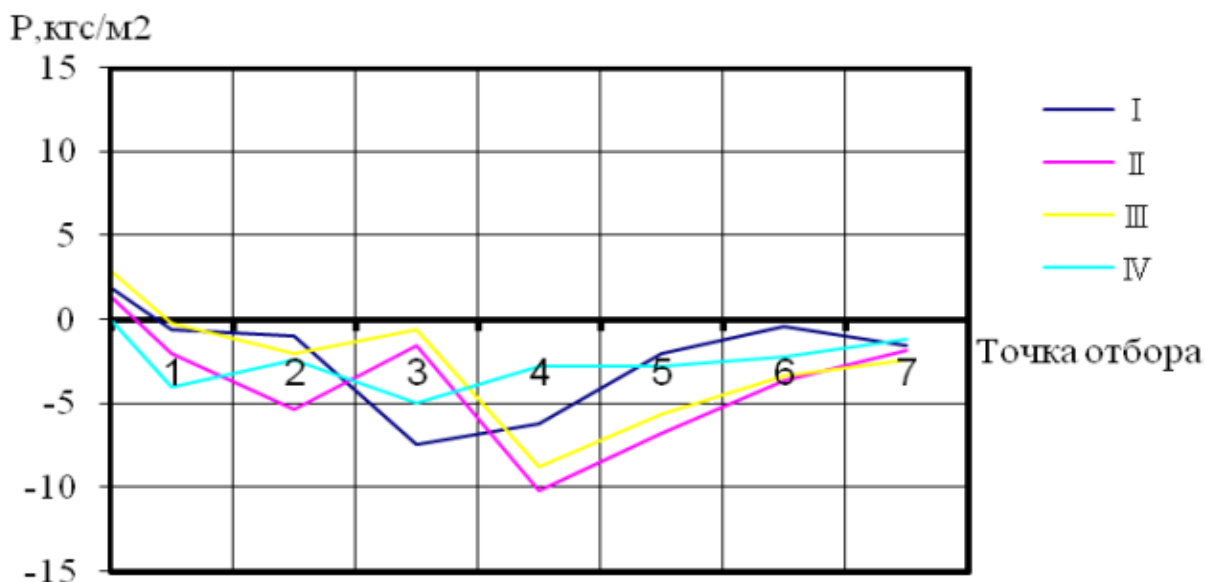
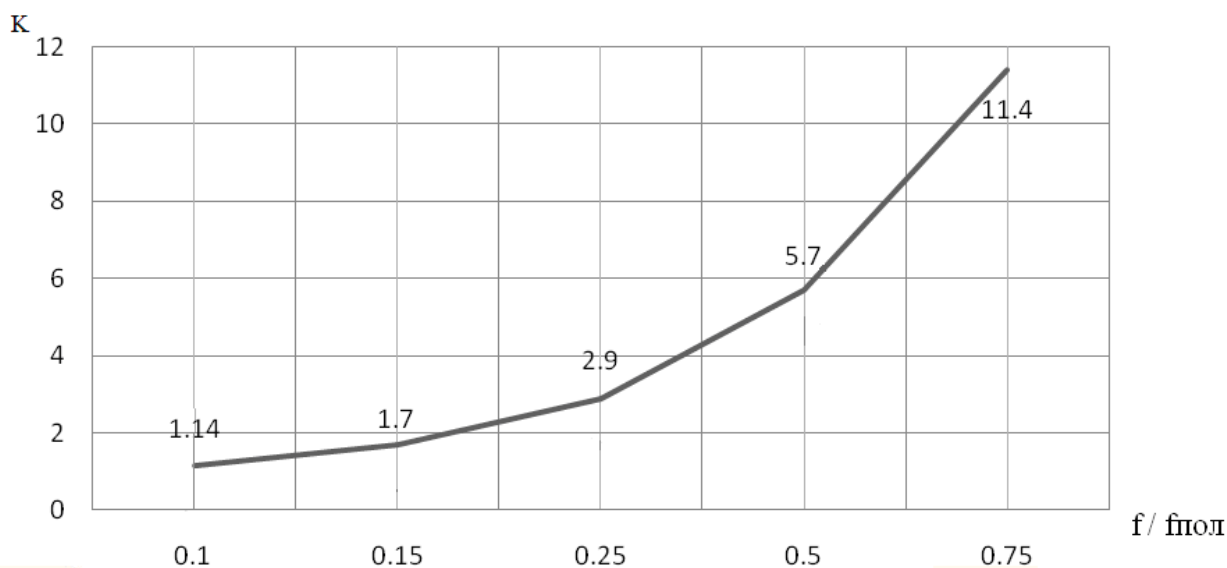


Рисунок 4 – Распределение давления по поверхности горелочного блока с торцевой заглушкой и с отражателем, при  $h=10$  мм.

Результаты экспериментов, приведенные на рисунках 3-5, показывают, что максимальная зона отрицательных давлений, которую можно использовать для дополнительного подсоса воздуха на горение, достигается без центральной воздушной инжекционной трубы, при удалении отражателя обратных токов на величину  $h=10$  мм.



где  $f$  – площадь эжектирующих каналов,  $f_{\text{пол}}$  – полная площадь тороидальной поверхности

Рисунок 5 – Зависимость кратности инжекции от относительной площади эжектирующих каналов на участке 4-7

Основные выводы:

1. При вихревом движении по тороидальной поверхности горелочного



камня создаются зона отрицательных давлений, которую можно использовать для дополнительного подсоса воздуха, что будет способствовать увеличению кратности инъекции воздуха в установке горелка + горелочный камень. Размеры и глубина этой зоны зависит от конструктивных соотношений устройства и условий формирования факела;

2. Наилучшие результат достигаются при работе горелки с заглушенным торцом, при этом относительная площадь зоны разряжения составляет  $f=f_{\text{зоны разр.}}/f_{\text{проточной части}}=6,25$ , а кратность инъекции воздуха за счет ее существования может меняться в пределах от 2 до 12;

3. Полученный результат позволяет отказаться от центральной инжекционной трубы с возможностью сжигать газообразное топливо с теплотворной способностью от 8 МДж/м<sup>3</sup> до 36 МДж/м<sup>3</sup>, т.е. весь спектр газообразного топлива, от доменного, коксодоменной смеси и природного газа.

УДК 621.746

## **ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

**Филинберг И.Н.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Селянин И.Ф.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В шахтных печах твердое топливо находится под давлением шихтовых материалов. При движении от колошника к очагу горения куски топлива частично разрушаются и окончательно уже разрушаются и газифицируются в очагах горения.

Существующие установки и методики позволяют определять прочность кускового топлива только при низких температурах ( $t = 20-25$  °С), что не соответствует условиям, при которых находятся куски кокса и углей и брикеты в шахтных печах в период плавки.

На кафедре литейного производства Сибирского государственного индустриального университета изготовлена установка для определения прочности твердого топлива (получены патенты № 96963, № 99616 на полезные модели «Лабораторная установка для определения прочности твердого топлива»), состоящая из нагревательного устройства с устройством для измерения температуры и времени, приемного устройства, барабана, весов для измерения массы топлива в процессе горения, устройством для регулирования температурного режима, например, заслонки и вентилятора, новизной в которой является снабжение нагружающим устройством, выполненным, например, в виде дисков, для того, чтобы слой топлива в процессе горения продвигался под действием груза, и еще барабан в этой

установке размещен вертикально. Ось барабана является осью для нагружающего устройства.

На чертеже показана схема установки.

Установка состоит из цилиндрического корпуса 1, который устанавливается на опору 2, а также колосниковой решетки 3, верхней решетки 4, штанги 5, упора 10, набора грузов 6 в виде дисков или блинов. Установка, кроме того, снабжена трубопроводом для подачи воздуха 7, весами 8, тарой 9 для провала топлива. Корпус 1 содержит также окно 11, вентилятор 13, шиберную заслонку 16.

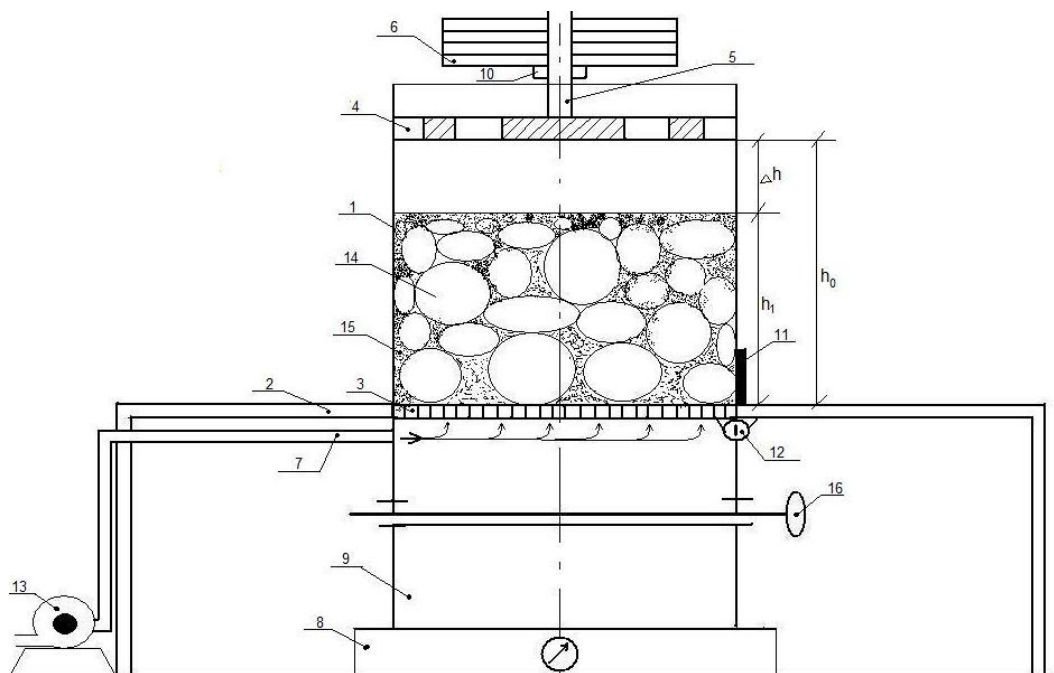


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

В корпус установки загружают топливо начальной массой  $M_0$  и измеряют начальную высоту столба топлива. Корпус установки первоначально находится на позиции I. После загрузки в барабан топлива устанавливают поверх барабана груз в виде дисков, нанизанных на штангу. Нагревательное устройство начинает разогреваться, дутье подается снизу, а топливо поступает под действием нагружающих дисков сверху. Топливо горит определенное время  $\Delta t$ , по истечении которого дутье прекращают, отмечают конечную высоту столба по мерной линейке, и чаша с топливом поступает на взвешивание. Выбирают определенное время горения  $\Delta t$  с таким расчетом, чтобы выгорело примерно половина первоначальной навески топлива  $\Delta M = (0,4...0,6)M_0$ . При  $\Delta t = \text{const}$  величина  $\Delta M$  будет определяться скоростью газификации исследуемого топлива и будет различной для различных видов топлива. По истечении времени  $\Delta t$  измеряют мерной линейкой высоту сгоревшего и осевшего слоя топлива

До момента измерения разница высот  $\Delta h$  отключают вентилятор, после определения высоты  $\Delta h$  открывается шибер, колосниковая решетка

откидывается на шарнире и остатки топлива высыпаются в тару и взвешиваются для определения конечной массы  $M_1$

По изменению массы топлива и насыпной массы топлива в процессе горения судят о прочности первоначально загруженного топлива. Величина относительной прочности топлива под нагрузкой зависит от величины высоты сгоревшего и осевшего топлива, которая измеряется с помощью линейки.

$\Delta h = h_0 - h_1$ , где  $h_0, h_1$  – высота слоя до и после опыта.

Для плавного опускания кусков сгоревшего топлива на весы установку дополнили приспособлением – эксцентриковым устройством для подъема и опускания тары (получен патент на полезную модель № 102386). В этом устройстве мерная тара расположена на подвесках между засыпным устройством и весами, установленными на платформе установки, а подвески мерной тары снабжены эксцентриковыми устройствами и снабжены ручками для подъема и опускания мерной тары на высоту хода эксцентрика, обеспечивающего плавное опускание мерной тары на весы.

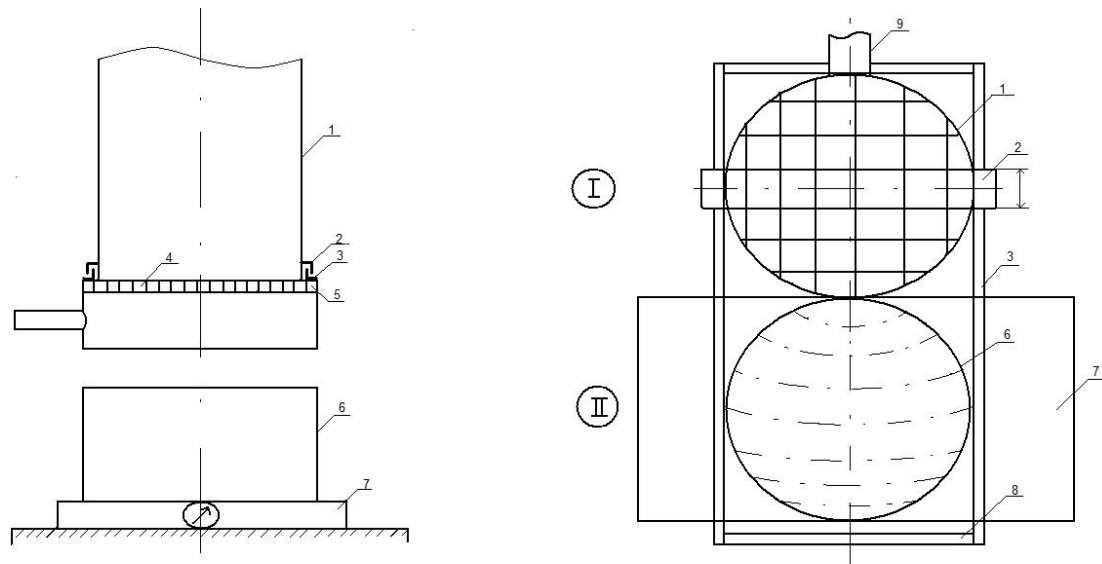
Дальнейшее усовершенствование установки было направлено на более точное взвешивание топлива (получено решение о выдаче патента по заявке № 2010148931). Для этого корпус снабдили направляющими для перемещения топлива на взвешивание. Топливо горит определенное время  $\Delta t$ , по истечении которого дутье прекращают, отмечают конечную высоту столба по мерной линейке, и с помощью толкателя корпус перемещают на позицию взвешивания II. Перемещение происходит по направляющим полозьев. Топливо постепенно поступает на взвешивание, сыплется аккуратно и взвешивается на весах. Динамика ударов топлива на весы незначительная, так как нет толчковых высыпаний, и само взвешивание более точное. Надежность работы весов повышается.

На чертеже показаны позиции перемещения топлива на взвешивание (пунктир показывает несколько последовательных позиций тары). А так как отрезок времени между замером конечной высоты столба топлива и взвешиванием конечной его массы меньше, а куски топлива не разрушаются при постепенном высыпании на весы, точность и надежность определения параметров прочности твердого топлива в процессе его горения повышается.

До момента измерения разниц высот  $\Delta h$  отключают вентилятор 13, после определения  $\Delta h$  открывается шибер 16, колосниковая решетка 3 откидывается на шарнире 12 и остатки топлива высыпаются в тару 9 и взвешиваются с помощью 8 для определения конечной массы  $M_1$

По изменению массы топлива и насыпной массы топлива в процессе горения судят о прочности первоначально загруженного топлива. Величина относительной прочности топлива под нагрузкой зависит от величины высоты сгоревшего и осевшего топлива, которая измеряется с помощью линейки.

$\Delta h = h_0 - h_1$ , где  $h_0, h_1$  – высота слоя до и после опыта.



1 – корпус установки, 2 – уголок 35 \*35 l= 100, 3 – уголок 35 \*35,  
 4 – колосниковая решетка, 5 – стойка рамы салазок, 6 – тара,  
 7 – весы, рама салазок, 9 – толкатель

Рисунок 2 – Схема усовершенствованной установки для определения прочности твердого топлива

#### Приложение.

Расчет относительной прочности топлива.

Относительная прочность топлива при горении под нагрузкой  $P$  определяется формулой :

$$\varepsilon_h = \Delta h / h_0 = h_0 - h_1 / h_0 = 1 - h_1 / h_0 \quad (1)$$

Относительная скорость разрушения и газификации топлива определяется выражением

$$\varepsilon_m = \Delta M / M_0 = M_0 - M_1 / M_0 = 1 - M_1 / M_0 \quad (2)$$

Начальная  $M_0$  и конечная  $M_1$  масса засыпки топлива в установку выражается формулами

$$M_0 = \rho_0 h_0 S_0 \quad M_1 = \rho_1 h_1 S_0 \quad (3),$$

где  $\rho_0, \rho_1$  – насыпная масса топлива до и после опыта,  $\text{кг/м}^3$ ,  
 $S_0$  – площадь сечения установки,  $\text{м}^2$ .

$$\text{Из выражений (3), следует } \rho_0 = M_0 / h_0 S_0, \quad \rho_1 = M_1 / h_1 S_0 \quad (4).$$

Под нагрузкой топливо растрескивается, особенно интенсивно в период горения, образуется много мелочи, которая заполняет пустоты между крупными кусками топлива. Засыпка топлива уплотняется, насыпная масса  $\rho_1$  после опыта больше  $\rho_0$  до опыта, то есть  $\rho_1 = \rho_0 + \Delta \rho$  (5),

где  $\Delta \rho$  – прирост плотности засыпки топлива в процессе эксперимента.

Подставляя (5) в (3), затем (3) в (2) и используя (1), получаем требуемое соотношение между  $\xi_m$  и  $\xi_h$ . Оно равно

$$\xi_m = \xi_h (2 - \rho_1 / \rho_0) \quad (6).$$

Данное соотношение раскрывает конструктивно-технологические возможности заявляемой лабораторной установки. Для совершенно прочного топлива  $\rho_1 = \rho_0$ , и из (6) следует  $\xi_m = \xi_h$ . Для топлива, имеющего недостаточную прочность,  $\rho_1 \geq \rho_0$ ,  $\rho_1 / \rho_0 \geq 1$ , и из (6) следует  $\xi_m \leq \xi_h$ . Для примера  $\rho_1 = 1,5 \rho_0$ ,  $\xi_m = 0,5 \xi_h$ .

Таким образом, для реального прочного топлива это соотношение будет равно  $\xi_m = 0,85 - 0,95 \xi_h$ , для топлива средней прочности  $\xi_m = 0,7 - 0,85 \xi_h$ , а для малопрочных топлив  $\xi_m = 0,5 - 0,7 \xi_h$ .

В заключении следует отметить, что данная установка позволяет определять прочность твердого топлива в условиях аналогичных для шахтных печах малого и большого диаметра. Американско-русский деловой союз наградил СибГИУ международной наградой – золотой медалью «Innovations for investments» и дипломом за разработанную лабораторную установку, которая защищена четырьмя патентами.

УДК 662.741.3

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ УСТАНОВОК СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА**

**Соловьев С.С., Лупенко В.Г.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Павлович Л.Б.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Экологическая обстановка коксохимических предприятий России неблагоприятна. Удельные выбросы составляют в среднем  $\sim 8$  кг/т кокса с колебаниями по отдельным предприятиями от 5 до 15 кг/т. Основными компонентами выбросов являются: пыль – 17,0;  $SO_2$  – 10,6; CO – 5,1;  $NO_x$  – 4,4;  $H_2S$  и фенолы – по 1,0; HCN – 1,4;  $NH_3$  – 2,1; нафталин – 0,2; бенз(а)пирен – 0,0009 [1].

В развитии коксохимической промышленности основными задачами является повышение качества кокса и улучшение технико-экономических показателей его производства. Один из путей, позволяющих решить эти задачи – внедрение метода сухого тушения кокса (УСТК). Этот метод дает возможность не только использовать физическое тепло раскаленного кокса для получения пара энергетических параметров, но и значительно повысить качество кокса и улучшить условия труда в коксовых цехах.

Целью данной работы является разработка технических решений по снижению вредных выбросов в атмосферу установок сухого тушения кокса.

Выбросы в атмосферу с УСТК в сумме составляют 3,2 – 7,5 кг/т кокса в том числе: SO<sub>2</sub> – 0,0025; H<sub>2</sub>S – 0,0017; HCN – 0,0005; NH<sub>3</sub> – 0,0034; фенол – 0,0007; пыль – 0,76; CO – 5,85, бенз(а)пирен 64,6 – 359,7 мкг/м<sup>3</sup>.

Одним из достоинств способа сухого тушения кокса в экологическом отношении является то, что выбросы на этих установках носят организованный характер и могут быть подвергнуты очистке, благодаря чему достигается общее сокращение удельных выбросов в атмосферу при производстве кокса.

Особенностями выбросов установки сухого тушения кокса является многочисленность источников выбросов – основными источниками выбросов являются свеча форкамеры и избыточного теплоносителя; многокомпонентность их состава; разнообразие физико-химических свойств выбросов из различных источников; повышенное содержание горючих компонентов (CO, H<sub>2</sub>); наличие пыли; низкое содержание кислорода. Кроме указанных особенностей выбросов УСТК, выбросы свечи форкамеры имеют высокую температуру (700 – 800 °С).

Характеристика выбросов УСТК приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика выбросов УСТК

| № блока | Источник                   | Период         | Объем, нм <sup>3</sup> /ч | Температура, °С | Средний состав, % |                 |                |                |                |                 |
|---------|----------------------------|----------------|---------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
|         |                            |                |                           |                 | CO                | SO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> |
| 10      | Свеча форкамеры            | загрузочный    | 950                       | 720             | 0                 | 20,5            | 78,5           | 0              | 1,0            | 0               |
|         |                            | межзагрузочный | 1362                      | 790             | 5,0               | 13,1            | 76,4           | 4,4            | 0,9            | 0               |
|         | Свеча избыточного давления | загрузочный    | 6047                      | 160             | 1,3               | 17,3            | 79,6           | 0,6            | 1,2            | 0               |
|         |                            | межзагрузочный | 1001                      | 160             | 2,2               | 15,9            | 80,0           | 0,9            | 1,1            | 0               |
| 11      | Свеча форкамеры            | загрузочный    | 578                       | 755             | 4,4               | 14,5            | 78,2           | 3,5            | 0,9            | 0               |
|         |                            | межзагрузочный | 791                       | 800             | 7,1               | 9,6             | 72,5           | 9,8            | 1,1            | 0,8             |
|         | Свеча избыточного давления | загрузочный    | 7253                      | 134             | 3,2               | 14,9            | 80,8           | 0              | 1,2            | 0               |
|         |                            | межзагрузочный | 1083                      | 144             | 5,3               | 12,9            | 80,2           | 0,4            | 1,1            | 0               |
| 13      | Свеча форкамеры            | загрузочный    | 1113                      | 760             | 1,3               | 16,1            | 80,1           | 1,5            | 1,2            | 0               |
|         |                            | межзагрузочный | 1497                      | 780             | 7,3               | 9,9             | 72,2           | 9,5            | 1,1            | 0,3             |
|         | Свеча избыточного давления | загрузочный    | 6461                      | 170             | 1,1               | 18,0            | 79,9           | 0              | 1,1            | 0               |
|         |                            | межзагрузочный | 1256                      | 164             | 3,0               | 14,6            | 80,7           | 0,2            | 1,1            | 0               |

Разработки способов ликвидации технологических выбросов УСТК позволяют определить в качестве перспективных следующие мероприятия:

– объединение выбросов из свечей дымососа и форкамеры, обеспыливание их в коническом циклоне и подача обеспыленных газов в трубопровод прямого коксового газа;

– каталитическое дожигание оксида углерода, бенз(а)пирена в объединенных выбросах свечей УСТК, обеспыливание и направление очищенных газов в дымовую трубу;

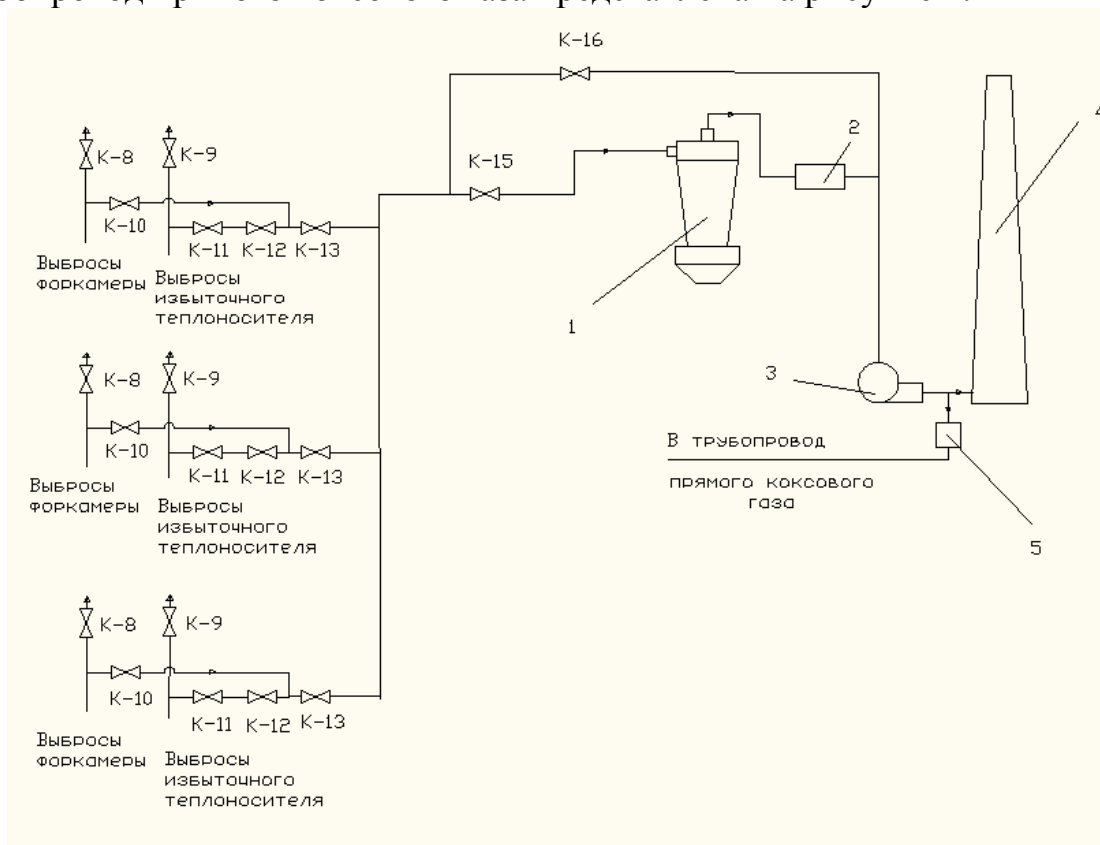
– термическое дожигание оксида углерода в цикле УСТК путем

подачи воздуха в циркулирующий газ перед пылесадительной камерой и в верхнем кольцевом канале.

Анализ этих вариантов показывает, что наибольший эффект может дать первый вариант. При этом необходимо обеспечить надежную работу пылеуловителей, поскольку попадание пыли в прямой коксовый газ ухудшает качество смолы и пека. По второму варианту мероприятий необходимо сооружение дорогостоящей установки каталитического дожига. По третьему варианту подача воздуха в цикл УСТК приведет к существенному увеличению объема циркулирующих газов и соответственно расхода сбросных газов через свечу дымососа.

Рекомендуется выбросы УСТК подавать в трубопровод прямого коксового газа. Достоинство данного метода в полной ликвидации загрязнения атмосферы. Считается недостатком метода повышение объема коксового газа, поступающего на улавливание химических продуктов коксования, что приведет к росту капитальных затрат на оборудование улавливания, вызванное повышением его производительности, а также к возможному снижению эффективности улавливания ввиду уменьшения концентрации химических продуктов коксования в прямом коксовом газе.

Технологическая схема очистки от пыли и подачи выбросов УСТК в трубопровод прямого коксового газа представлена на рисунке 1.



1 – циклон; 2 – котел-утилизатор; 3 – вентилятор; 4 – дымовая труба; 5 – огнепреградитель; К-8 – К-13 – регулирующие клапана

Рисунок 1 – Технологическая схема очистки от пыли и подачи выбросов УСТК в трубопровод прямого коксового газа

Для поддержания гидравлического режима УСТК предусматриваются следующие технические решения. Давление в общем коллекторе поддерживается постоянным за счет регулируемого при помощи регулирующего клапана (К-16) расхода очищаемого газа подаваемого на рециркуляцию и общего расхода выбросов регулируемого регулирующим клапаном (К-15). Давление в коллекторе, объединяющем выбросы форкамеры и избыточного теплоносителя для каждого блока, поддерживается на уровне, не превышающем давление в накопительной камере. Давление избыточного теплоносителя после дымососа регулируется при помощи регулирующего клапана (К-12).

Во время загрузки кокса в камеру тушения резко возрастает объем газов, сбрасываемых через свечу избыточного теплоносителя, которые не могут быть направлены в трубопровод прямого коксового газа. Поэтому в момент загрузки кокса одновременно с открытием загрузочного люка происходит открытие клапана (К-9) и перекрывание клапана (К-12), при этом избыточный теплоноситель сбрасывается в атмосферу, давление под сводом форкамеры при помощи клапана (К-13) устанавливается на уровне 0 – 20 Па. При окончании загрузки в момент закрытия загрузочного люка производится перекрывание клапана (К-9) и открытие клапана (К-12).

В процессе эксплуатации УСТК возможно образование свищей в теплообменной аппаратуре, что сопровождается ростом объема газов, сбрасываемых через свечу избыточного теплоносителя, и, соответственно, ростом их запыленности и влажности. Как правило, определение начального момента образования свищей в теплообменной аппаратуре затруднено. Потери пара контрольно-измерительной аппаратурой котельного отделения регистрируются только при их повышенных значениях. В тоже время из результатов исследований известно, что при нормальной эксплуатации УСТК, влажность теплоносителя не превышает 50 г/м<sup>3</sup>. Поэтому для предотвращения аварий следует на трубопроводе избыточного теплоносителя обеспечить автоматический контроль содержания влаги в газе. При превышении его значения 50 г/м<sup>3</sup> производится открывание клапана (К-9) и перекрывание клапана (К-12), в результате чего избыточный теплоноситель сбрасывается в атмосферу.

При выводе блока тушения из эксплуатации производится отглушение свечей форкамеры и избыточного теплоносителя от установки пылеочистки при помощи задвижек (К-10), (К-11) и открывание задвижек (К-8), (К-9).

Для очистки выбросов от пыли используется циклон СК-ЦН-34М [2] с диаметром 2 м. Очистка выбросов в циклоне составит 69,85 %, до 0,005 г/м<sup>3</sup>. Разбавление коксового газа составит 19 %.

Недостаток способа, изложенный выше, не является столь значимым для коксо-химического производства, так как в перспективе планируется построить КХП без улавливания химических продуктов коксования.

Данная технология может быть реализована на ОАО «ЗСМК», где цеха улавливания рассчитаны на 7 коксовых батарей, а работает только 5, таким



образом нет необходимости увеличения капитальных вложений на строительство цехов улавливания.

Таким образом подача выбросов в трубопровод прямого коксового газа позволит полностью ликвидировать выбросы УСТК и является эффективным и наименее затратным техническим решением.

#### Библиографический список

1. Сухоруков В.И. Научные основы совершенствования техники и технологии производства кокса / В.И. Сухоруков. – Екатеринбург: ГУП ВУХИН, 1999. – 396 с.

2. Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии / С.Б. Старк. – М.: Металлургия, 1977. – 328 с.

УДК 539.376

### **ДЕФОРМАЦИЯ ДВОЙНИКОВАНИЕМ ПЕРЛИТА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ НАГРУЖЕНИИ**

**Чумаченко А.Ю., Ромашова Ю.Н., Батаев И.А.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Батаев А.А.**

*Новосибирский государственный технический университет  
г. Новосибирск*

Высокоскоростная деформация материалов имеет место при реализации различных процессов. На сегодняшний день в промышленности находят всё большее применение такие технологии, как сварка взрывом, взрывное компактирование порошков, взрывное формование и упрочнение материалов взрывом. При реализации отмеченных технологий деформация материалов происходит в течение долей секунд, при этом давление возникающих ударных волн может превышать 10...20 ГПа. В таких условиях возможно существенное изменение механизмов деформации. В работах М.А. Мейерса и Л.Е. Мурра, опубликованных в сборнике [1], а также работах М.И. Гольдштейна [2], Б.Г. Лившица [3] и ряда других авторов отмечается, что с повышением скорости нагружения и давления в металлах активизируется механизм деформационного двойникования. Причём двойники деформации появляются даже в тех металлах и сплавах, в которых при обычных (квазистатических) условиях их образование является весьма маловероятным. К таким сплавам относятся, например, широко распространенные углеродистые стали. Образование двойников в ферритных зёрнах этих сталей является известным явлением и описано в большом количестве работ, посвящённых сварке взрывом и высокоскоростной деформации материалов [8]. В тоже время формирование двойников в структуре перлита является достаточно редким и малоизученным явлением. Так в работе [1] отмечается, что деформация двойникованием затруднена при наличии даже относительно небольшого количества частиц второй фазы,

в то время как в структуре пластинчатого перлита выделения второй фазы составляют более 10%. В работе [4] отмечается, что двойники, образующиеся в ферритных зернах, в большинстве случаев не пересекают границу раздела «феррит-перлит». Переход двойников из ферритного зерна в колонию перлита возможен лишь в том случае, когда они были образованы из единой аустенитной матрицы. Первое исследование, направленное на изучение деформации пластинчатого перлита по механизму двойникования, насколько известно авторам настоящей работы, было проведено М. Прёгером с использованием оптической металлографии [5]. Образование двойников в перлите было зафиксировано в работе [6] и наблюдалось при нагружении стального диска в условиях фокусировки энергии при взрыве заряда ТГ40. Одна из наиболее значимых работ посвященных двойникованию в эвтектоиде была проведена Х.К. Боуденом и М.П. Келли [7]. Важнейший вывод, сделанный ими, заключается в том, что двойникование в перлите, наиболее вероятно, реализуется лишь в условиях сжимающих напряжений.

В большинстве из перечисленных работ явление двойникования перлита наблюдалось либо при одноосной деформации сжатием, либо в условиях, когда сжимающие напряжения доминировали над растягивающими. Результаты исследований, проведённых в настоящей работе, свидетельствуют о возможности двойникования в перлите в условиях, когда доминирующими являются напряжения растяжения.

В качестве объекта исследования в работе использовали трубы с внешним диаметром 60 мм и толщиной стенки 10 мм, изготовленные из стали со средним содержанием углерода 0,6%. Высота заготовок составляла 150 мм. В исходном состоянии сталь имела феррито-перлитную структуру. Основной составляющей являлся перлит пластинчатого типа. Зёрна избыточного феррита формировали тонкую сетку вокруг перлитных колоний. Высокоскоростное деформирование и разрушение труб осуществлялось в процессе детонации заряда взрывчатого вещества, помещённого внутрь трубы. Образованные после разрушения трубы фрагменты исследовали методами оптической металлографии, растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Особое внимание в процессе исследований уделялось особенностям двойникования перлитной составляющей стали.

Двойники деформационного происхождения, формирующиеся в пластинчатом перлите, не смотря на малый размер, отчётливо выявляются методом оптической металлографии. На рис. 1 они выглядят в виде тонких слегка изогнутых линий распространяющихся внутри перлитных колоний в одном направлении. Изгиб кристаллографически «правильных» дефектов, вероятно, объясняется тем, что после прохождения высокоскоростных ударных волн, дальнейшая деформация материала протекает по механизму скольжения дислокаций.

Следует отметить тот факт, что в пределах одной перлитной колонии

двойники расположены под различными углами к цементитным пластинам. В частности, двойники в перлите расположены поперек пластин и под острым углом к пластинам цементита, что соответствует результатам работы [7]

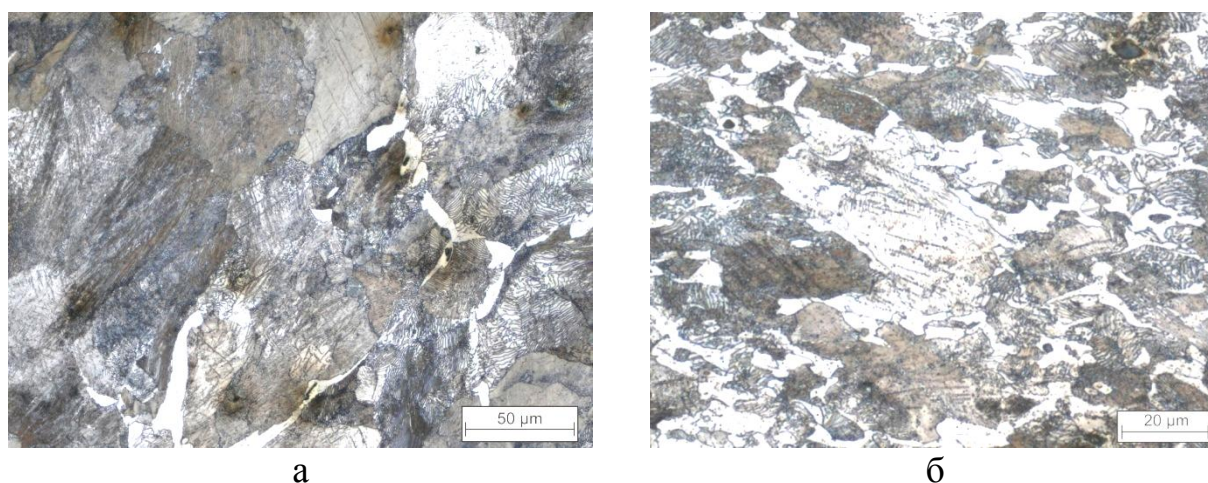


Рисунок 1 – Двойники в перлите стали 60

Этот факт подтверждается результатами растровой электронной микроскопии (рис. 2). Высокие давления и скорости деформации, реализуемые в процессе ударного нагружения, приводят к активизации всех возможных плоскостей семейства  $\{211\}$  в пределах одной колонии перлита, что выражается в появлении своеобразных фигур в виде прямоугольных треугольников (рис. 2в).

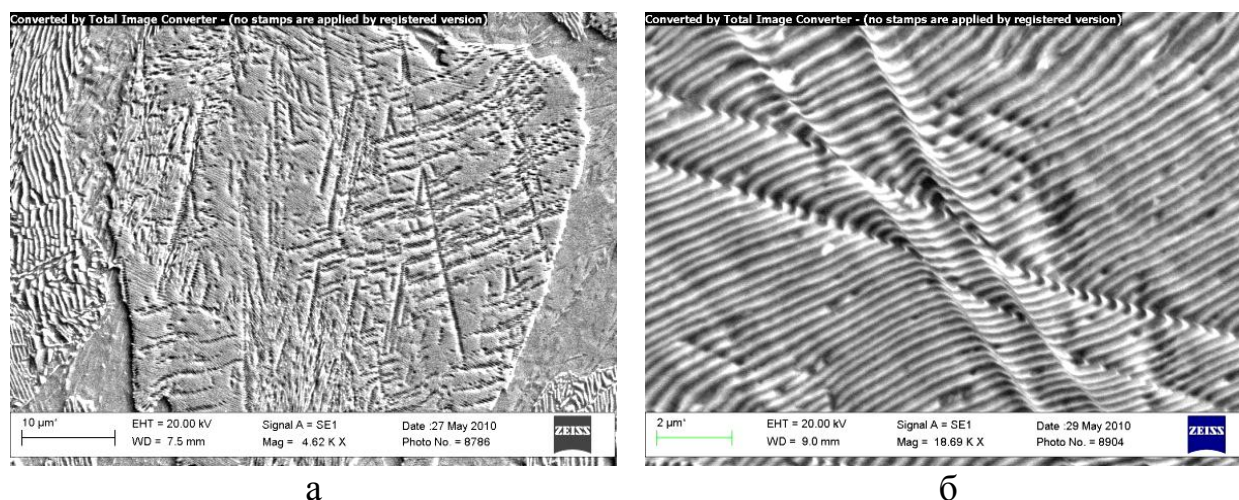
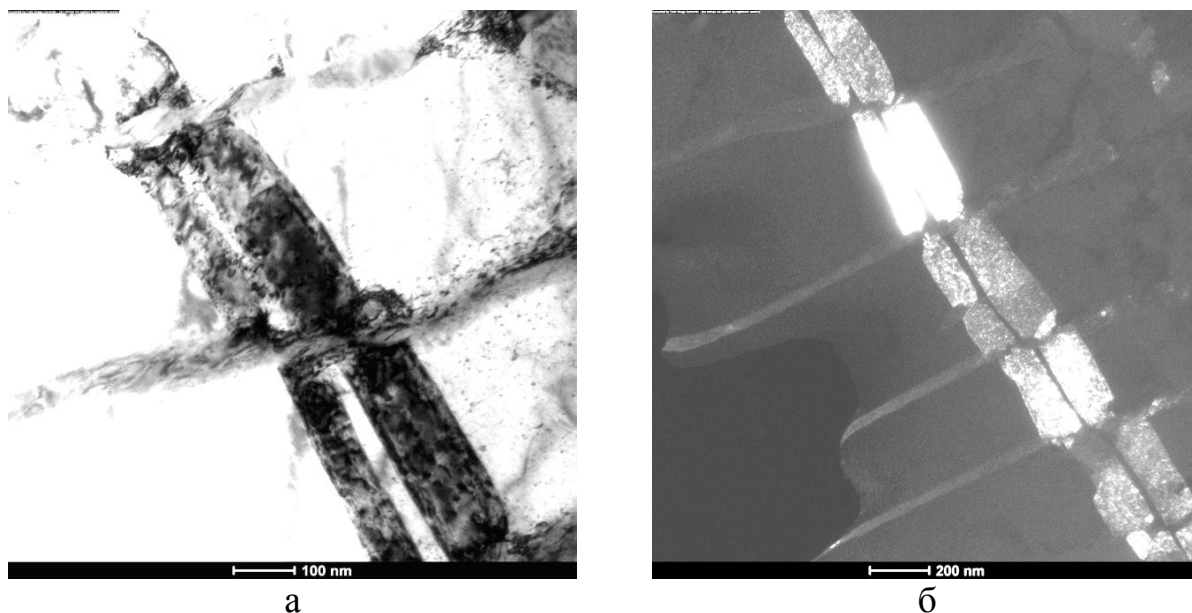


Рисунок 2 – Двойники деформационного происхождения в перлитных колониях

Наиболее надёжным методом, подтверждающим образование двойников деформации в перлите, является просвечивающая электронная микроскопия. На рис. 3а, представлена фотография двух двойников. На рис.

3б представлено темнопольное изображение того же участка, сделанное в одном из рефлексов двойников. Анализ представленных изображений свидетельствует о том, что кристаллографическая ориентировка двойника, при пересечении им цементитных пластин остаётся постоянной. Этот факт легко объясняется наличием единственной для всей колонии перлита ферритной матрицы.



а – светлопольное изображение;  
б – темнопольное изображение, полученное в одном из рефлексов двойников

Рисунок 3 – Двойники деформации, зафиксированные методом ПЭМ

#### Выводы

1. Двойникование в перлите возможно в условиях, когда растягивающие напряжения являются доминирующими
2. В пределах одной колонии перлита возможно образование нескольких десятков двойников. При этом задействуются все возможные плоскости семейства  $\{211\}$ .
3. Двойники деформации, образовавшиеся на первых этапах деформации, изгибаются при развитии в материале механизмов дислокационного скольжения.

#### Библиографический список

1. Мейерс М.А., Мурр Л.Е. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов.- М.: Металлургия.- 1984 г.- 512 с.
2. Гольдштейн М.И., Литвинов В.С., Бронфин Б.М. Металлофизика высокопрочных сплавов.- М.: Металлургия.- 1986 г.- 310 с.
3. Лившиц Б.Г. Металлография.- М.: Металлургия.- 1971 г.
4. Samuels L.E. Light microscopy of carbon steels.- ASM International.- 1999.- 502 p.

5. Pröger M., Die deformations- und Bruchmechanismen des lamellaren Perlits: Diss.- Stuttgart (1964), 101 S.

6. Bataev I., Balagansky I., Bataev A., Hokamoto K. Transformation of Structure in Carbon Steel Specimen under Loading by Mach Stem, Formed in Preliminary Compressed High Explosive Charge TG-40.- Materials science forum.- Vol. 673.- 2011.- PP. 89-94

7. Bowden H.K., Kelly P.M. Deformation twinning in shock-loaded pearlite: Acta Metallurgica. Vol.15 (1957), pp. 105-111.

8. Crossland B., Williams J.D., Sribman V. Developments in Explosive Welding//Aircraft Engng. 1968. Vol. 40, N 12. P. 11-13.

УДК 621.

## **ЭКСПЕРТИЗНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ЧУГУННОЙ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ В СОСТОЯНИИ ПОСТАВКИ**

**Жук Т.А.**

**Научный руководитель: к.ф.-м.н. Морозов В.П.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

На экспертное исследование был предоставлен вагонно-тормозная колодка колодки типа «С» с целью выявления соответствия структуры и свойств металла техническим условиям. Из колодки был вырезаны два поперечных образца для исследования свойств и микроструктуры.

Чугунные тормозные колодки изготавливаются в соответствии со стандартом ОСТ 32.194-2002 «Колодки тормозные чугунные для вагонов. Технические условия».

Стандарт распространяется на тормозные чугунные колодки, предназначенные для установки на подвижной состав железных дорог и обеспечения эксплуатации тормозов Рис 1.



Рисунок 1 – Колодка вагонно-тормозная чугунная тип «С»

Определение химического состава колодки.

Тормозные колодки изготавливаются из серого чугуна в соответствии

с требованиями, предъявляемыми стандартом ОСТ 32.194-2002.

Химический состав чугуна был выявлен спектральным методом с помощью спектрографа. Массовую долю каждого элемента в пробе и стандартном образце определяют по двум параллельным спектрограммам. Полученные спектры пробы сравниваются со спектрами известных элементов, приведенных в соответствующих атласах и таблицах спектральных линий, и таким образом установлен элементный состав анализируемого образца.

Химический состав чугуна исследуемой колодки и состав в соответствии с нормами, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав чугуна

| Тормозная колодка<br>тип «С» | Массовая доля элементов (%) |           |           |           |              |
|------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
|                              | С                           | Si        | Mn        | P         | S, не более  |
| исследуемая                  | 3,2                         | 0,95      | 0,75      | 0,35      | не более 0,2 |
| ОСТ                          | 2,8 – 3,6                   | 0,7 – 1,2 | 0,4 – 1,1 | 0,2 – 0,5 | 0,2          |

Определение твердости.

Оценка твердости чугуна была проведена на двух поперечных образцах, вырезанных из средней и крайней части колодки, на приборе для измерения твердости по методу Бринелля в соответствии с ГОСТ 23677-79 и ГОСТ 9012-59. Твердость чугуна составляет 207НВ. В соответствии с ОСТ 32.194-2002 твердость тела колодки должна составлять от 197 до 255.

У тормозных колодок не допускаются трещины, выявляемые визуально (без применения дополнительных оптических средств).

Методы изучения, оценки и классификации структуры чугунов регламентированы ГОСТ 3443-87. и заключаются в визуальном сопоставлении структуры, видимой в микроскопе, со структурой эталона соответствующей шкалы при увеличении от  $\times 20$  до  $\times 500$ .

Металлографический анализ проводят для контроля макро- и микроструктуры чугуна колодки, а также для выявления внешних и внутренних дефектов (трещины, шлаковые включения, загрязнения), отрицательно влияющих на надежность и прочность изделия.

Процесс изготовления металлографического шлифа включает в себя следующие операции: вырезку образца и подготовку поверхности; шлифование; полирование; травление.

Поверхность шлифа должна быть зеркальной, без рисков от операций шлифования и полирования, без окислов и других загрязнений.

Исследование графита производится на нетравленном шлифе, а металлическая основа – на шлифе после травления 4%-ным раствором азотной или пикриновой кислоты.

Микроструктура тормозной колодки приведена на Рис. 2 и 3.

При визуальном осмотре металла трещин не выявлено.

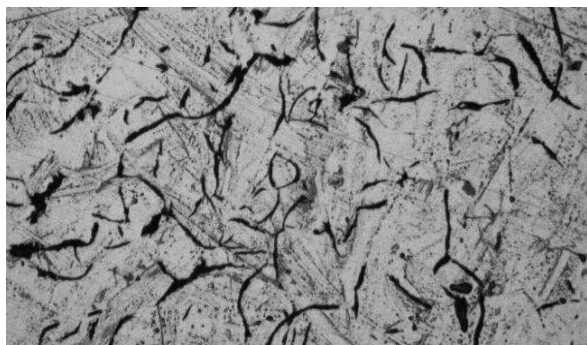


Рисунок 1 – Микроструктура образца до травления,  $\times 100$



Рисунок 2 – Микроструктура образца после травления,  $\times 400$

Анализ данных приведенных в табл.2. определения структуры показывает: микроструктура тормозной колодки состоит из серого чугуна с неравномерно распределенным пластинчатым графитом завихренной формы длиной 60-120 мкм, перлит смешанного строения в количестве 90-94%:

ПГф2 – ПГр2 – ПГд90 – Пт1 – П92 – Пд1,0 – ФЭЗ – Фэр2.

Данная микроструктура относится к «допускаемой» структуре в соответствии с ГОСТ 3443-87

Таблица 2 – Результаты металлографического исследования микроструктуры

| № п/п                               | Определяемый показатель            | Обозначение  | Шкала           |
|-------------------------------------|------------------------------------|--|-----------------|
| 1. Определение графита              |                                    |  |                 |
| 1.1                                 | Форма включений графита            | ПГф2 (пластинчатая завихренная)  | Шкала 1А        |
| 1.2                                 | Размер включений графита           | ПГд90 (длина включений графита 60 – 120 мкм)                             | Шкала 1Б        |
| 1.3                                 | Распределение включений графита    | ПГр2 (неравномерное)   | Шкала 1В        |
| 1.4                                 | Количество включений графита (%)   | ПГб (площадь, занятая графитом, равна 5-8%)                              | Шкала 1Г        |
| 2. Определение металлической основы |                                    |  |                 |
| 2.1                                 | Вид структуры металлической основы | Пт1 (перлитная металлическая основа)                                     | Шкала 5         |
| 2.2                                 | Содержание перлита и феррита       | П92(Ф8) – площадь, занятая перлитом, составляет 90-94%, ферритом – 6-10% | Шкала 6А, ряд 1 |
| 2.3                                 | Дисперсность перлита               | Пд1,0 (расстояние между пластинками перлита 0,8-1,3 мкм)                 | Шкала 8         |

Продолжение таблицы 2

| № п/п                           | Определяемый показатель                     | Обозначение   | Шкала           |
|---------------------------------|---|---|-----------------|
| <b>3. Фосфидная эвтектика</b>   |   |   |                 |
| 3.1                             | Строение включений фосфидной эвтектики      | ФЭЗ (тройная мелкозернистая)  | Шкала 9А, ряд 1 |
| 3.2                             | Площадь включений фосфидной эвтектики       | ФЭп6000 (площадь наибольших включений 2000-10000 мкм <sup>2</sup> ) | Шкала 9Г        |
| 3.3                             | Распределение включений фосфидной эвтектики | ФЭр2 (разорванная сетка)  | Шкала 9Б, ряд 2 |
| <b>4. Определение цементита</b> |   |   |                 |
| 4.1                             | Содержание цементита                        | Ц2 (площадь, занятая цементитом, до2%)                              | Шкала 10А       |

**Заключение**

На основе результатов экспертного исследования можно сделать вывод о том, что химический состав, механические свойства, макро- и микроструктура чугуна удовлетворяют требованиям стандарта ОСТ 32.194-2002 и, следовательно, металл годен к эксплуатации.

**Библиографический список**

1. Францелюк И.В., Францелюк Л.И. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов/ И.В. Францелюк, Л.И. Францелюк. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 192 с.
2. Стандарт отрасли ОСТ 32.194-2002 «Колодки тормозные чугунные для вагонов. Технические условия».
3. ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры»
4. ГОСТ 22536.0-87 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Общие требования к методам анализа»

УДК 621.784.063

**ОХЛАЖДАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКАЛОЧНЫХ СРЕД НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Денисова Д.С., Жигульская Е.А., Игнатёнок О.Н., Марков О.П.  
Научные руководители: Шорохова О.В., Осколкова Т.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время рассматривается вопрос замены масла, одной из



основных закалочных сред, полимерными водными растворами. Преимущества этих сред перед маслами заключаются в: улучшение экологических условий (чистота помещений, отсутствие дыма и копоти и т.д.) и меньшая стоимость. Однако данные по применению полимерных растворов показали, что для их использования необходим строгий контроль состава закалочных ванн, так как незначительные отклонения состава ванн от оптимального приводят в большинстве случаев к резкому изменению их закалочной способности. Известно, что в мартенситном интервале температур скорость охлаждения в полимерных растворах больше, чем в закалочных маслах, а следовательно, вероятность появления коробления и образования трещин при закалке в них повышается. Поэтому рекомендации по использованию полимерных сред обычно даются для конкретных деталей, и их внедрение не может быть осуществлено без предварительного опробования [1].

Целью настоящей работы явилось сравнение охлаждающих способностей некоторых закалочных сред в процессе их эксплуатации.

В работе [2] проведено исследование охлаждающей способности закалочной среды УЗСП-1 (ТУ 38.403192-86) производства ярославского ОАО НИИ «Ярсинтез». Для объёмной закалки деталей из улучшаемых сталей типа 45, 20Х, 40Х, 45Х, 40ХНМ применяли 3 % раствор УЗСП-1. Сравнение охлаждающих способностей 3 %-ного раствора УЗСП-1 и масла И-12, проведённое по кривым охлаждения и температурным зависимостям скоростей охлаждения, показало, что кривые практически не различаются (рисунок 1). Это позволило рекомендовать раствор УЗСП-1 с концентрацией 3 % для опробования в производственных условиях на ОАО «Рязанский станкостроительный завод» для закалки зубчатых колёс из улучшаемых марок сталей после нагрева ТВЧ, в результате чего на опытных партиях зубчатых колёс различных типоразмеров была обеспечена необходимая твёрдость деталей при отсутствии закалочных трещин.

В работе [3] приведены результаты исследований охлаждающей способности 1 % водного раствора полимера ПК-2. Испытания данной закалочной среды показали, что твёрдость по поверхности закалённых образцов равномерна. После закалки в 1 % водополимерном растворе 3000 образцов никаких значительных изменений в растворе не наблюдалось. Налёт на поверхности закаливаемых изделий и ванны отсутствует, что даёт возможность избавиться от трудоёмкого процесса отмывки деталей после закалки. Запах при работе с данной охлаждающей жидкостью не ощущается. Как видно из рисунка 2, средние скорости охлаждения при различной начальной температуре ванны меняются незначительно, порядка 7 – 9 °С/сек при изменении температуры ванны от 20 до 80 °С.

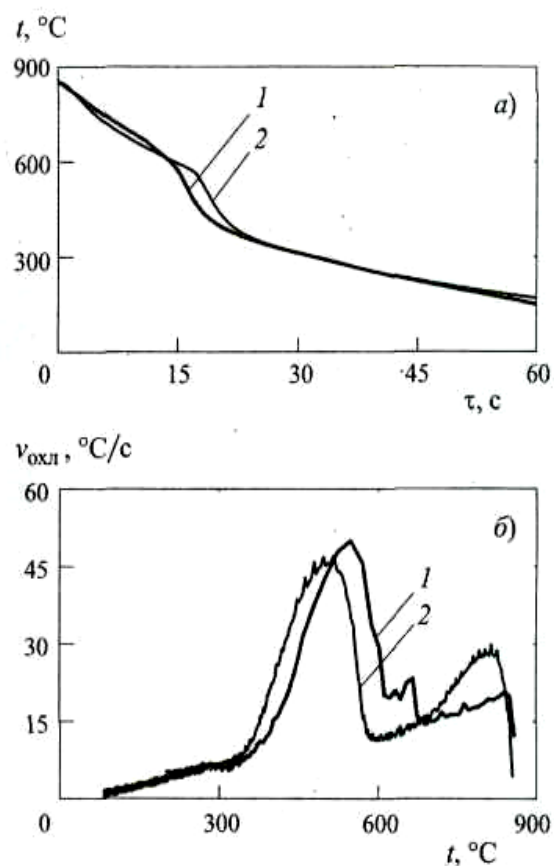


Рисунок 1 – Кривые охлаждения (а) и скорости охлаждения при различных температурах (б) в 3 %-ных растворах УЗСП-1 (1) и масла И-12 (2) [2]

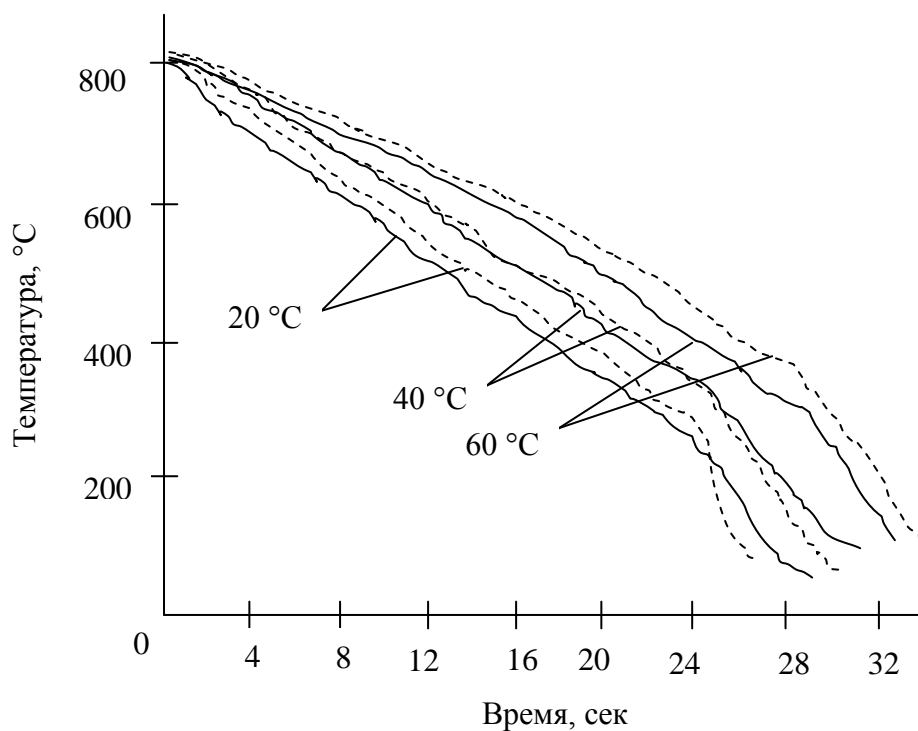


Рисунок 2 – Кривые охлаждения 1 %-ного раствора ПК-2 при различной начальной температуре ванны: сплошная линия – исходный раствор; штриховая – раствор после закалки 3000 образцов[1]

Технические, экологические и прочие показатели, а также области применения УЗСП-1 во многом аналогичны соответствующим показателям и области применения ПК-2. Эти две среды могут быть даже использованы в смесях с различными количественными соотношениями концентраций в пределах оптимальных, т.е. практически являются заменителями друг друга [4]. Среда УЗСП-1 и ПК-2 могут эффективно использоваться в тех случаях, когда невозможно применение воды или масла. Так, например, при спрейерной закалке с индукционного нагрева изделий из чугуна использование воды невозможно из-за интенсивного образования трещин, а масла – из-за пожароопасности.

В работе [5] было описано исследование охлаждающей способности водных растворов полимера ПК-М, изучение влияния закалки в этих средах на свойства деталей из сталей марок 40, 45, 50, 30ХГСА, 40Х, 40ХН, а также рекомендация применения указанной среды в промышленных условиях вместо индустриального масла И-20 А. Закалочная жидкость ПК-М – улучшенная модификация известной среды ПК-2 и представляет собой водный раствор полимера – натрий-железосодержащей соли полиакриловой кислоты с модифицированной молекулярной структурой, нейтрализованного натриевой щелочью до водородного показателя раствора  $pH = 6,5 - 10$  (концентрат водополимерной закалочной среды ПК-М изготавливают в соответствии с техническими требованиями ТТ 712186688-01-03). Кривые охлаждения снимались в циркулирующей среде. При этом за основу выбирался тот пробный раствор, кривая охлаждения которого в интервале температур (800 – 400 °С) совпадает с кривой охлаждения масла или максимально приближался к ней. В данном исследовании использовали 10 % водный раствор полимера ПК-М. В отличие от УЗСП-1, закалочную ванну с полимером ПК-М готовят не в течение нескольких суток, а порядка 2 – 4 часов. После приготовления 10 %-ного водополимерного раствора образцы вышеперечисленных сталей подвергали объёмной закалке от температур, принятых для этих сталей. Закалка в растворе ПК-М приводила к существенному уменьшению количества окалины на поверхности обработанных изделий, что облегчает последующую очистку дробью, песком и т.д. При исследовании 10 %-ного водного раствора полимера ПК-М получены хорошие результаты при закалке образцов большого сечения (диаметром 80 мм и более). Исследуемые стали не содержали закалочных трещин; по твёрдости, микроструктуре не уступали образцам, закалённым в индустриальном масле И-20 А.

Авторы работы [6] оценивали технологические качества различных водополимерных закалочных сред и возможности их применения. Для сравнительных испытаний разработчиком были предоставлены образцы концентрированных водных растворов полимерных композиций разного состава и образец новой закалочной среды на основе интерполимерного комплекса. Были испытаны следующие составы:

- 1) на основе низкомолекулярных сополимеров поликарбонатовых

кислот (НСП);

2) на основе высокомолекулярных сополимеров поликарбоновых кислот (ВСП);

3) на основе низкомолекулярных сополимеров N-виниламидов (НСВ);

4) на основе высокомолекулярных сополимеров N-виниламидов (ВСВ);

5) опытно-промышленный образец закалочной среды на основе интерполимерного комплекса (ЗС).

Из этих полимеров готовили 5-, 10- и 15 %-ные водные растворы и исследовали их охлаждающие способности при температуре среды  $20 \div 60$  °С. На рисунке 3 приведены кривые охлаждения датчика в 5-, 10- и 15 %-ных растворах НСВ (а), ЗС (б) и НСП (в), а также кривые охлаждения в воде и масле И-12 при температуре закалочных жидкостей 40 °С. Для замены закалочного масла наилучшим является 15 %-ный раствор на основе интерполимерного комплекса (ЗС), так как кривая охлаждения в этом растворе наиболее близка к кривой охлаждения в масле И-12 (рисунок 3, б). В мартенситном интервале температур скорости охлаждения в 10- и 15 %-ных растворах этой среды невелики и сопоставимы со скоростями охлаждения в закалочном масле.

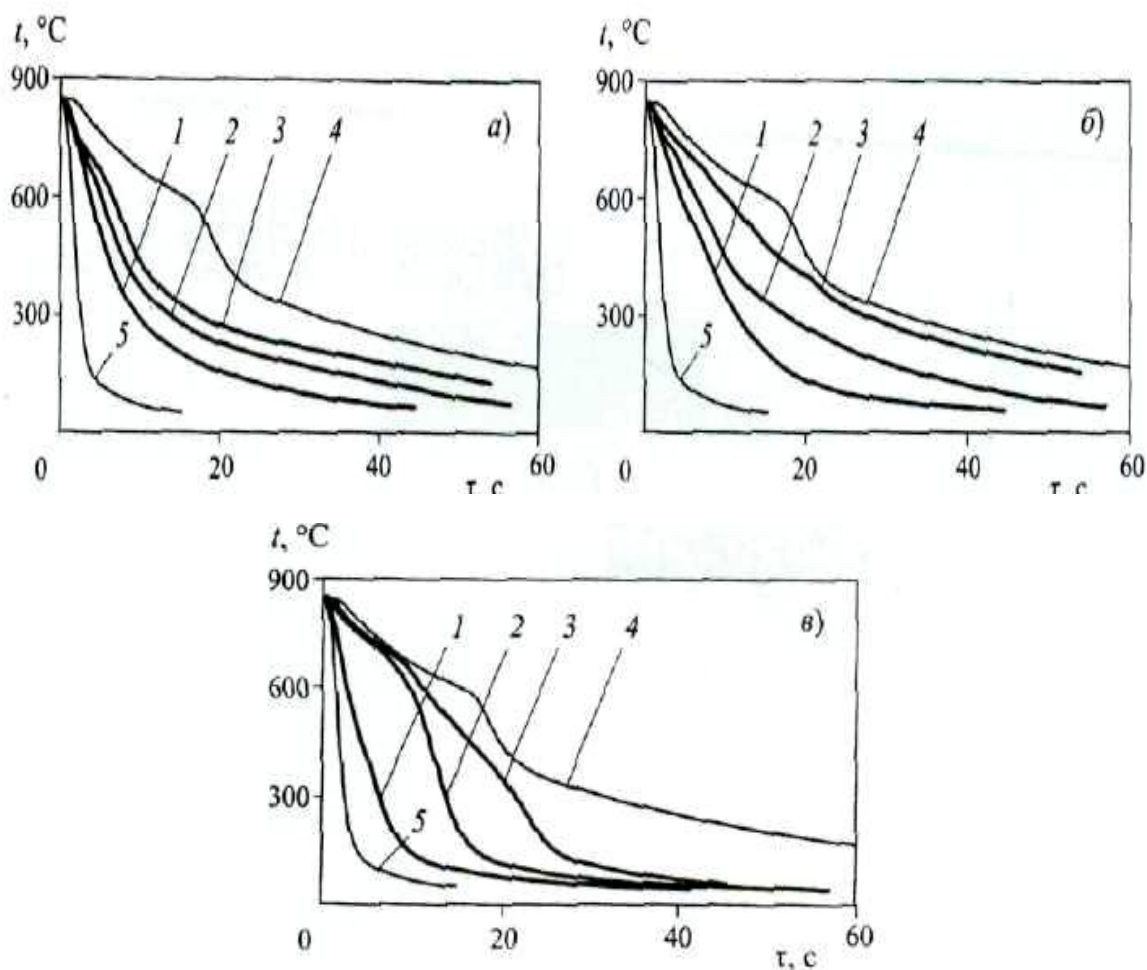


Рисунок 3 – Кривые охлаждения в опытных образцах полимеров НСВ (а), ЗС (б) и НСП (в) разной концентрации, в воде и масле при 40 °С [6]: 1 – 5 % раствор; 2 – 10 % раствор; 3 – 15 % раствор; 4 – масло И-12; 5 – вода

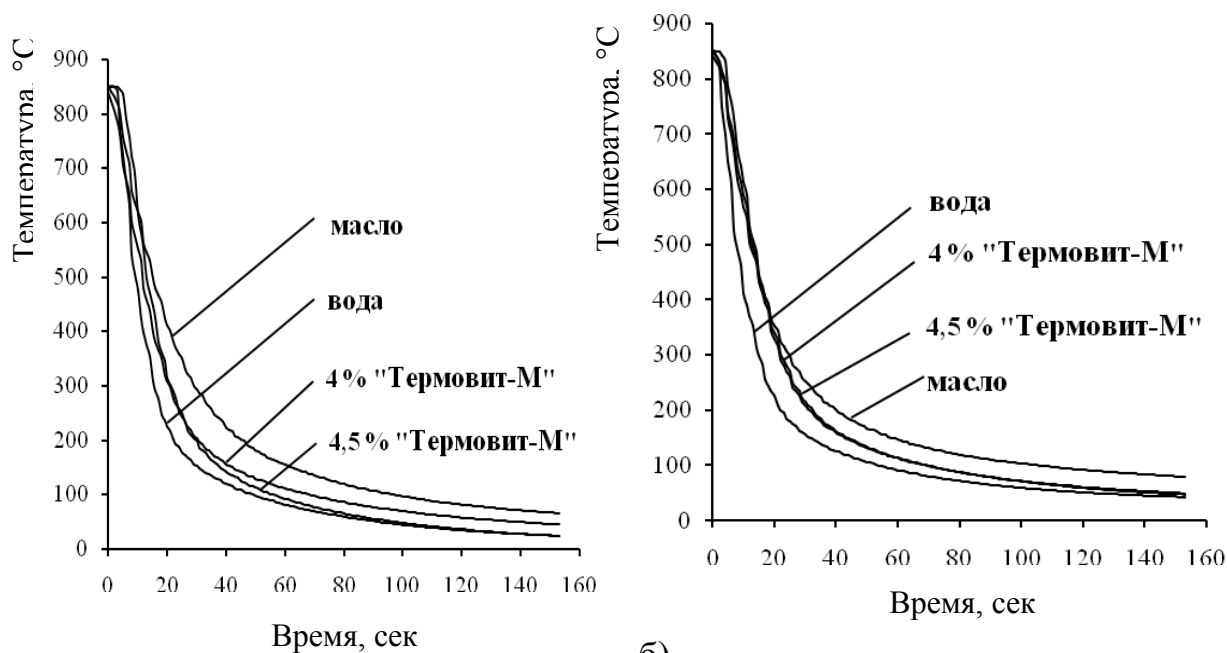
Неудачным является 5 % водный раствор на основе НСП, так как он обладает слишком высокими скоростями охлаждения в мартенситном интервале температур (рисунок 3, в). В рамках работы [6] было проведено исследование влияния температуры на охлаждающую способность 15 %-ных опытных растворов состава НСВ и ЗС. Нагрев до 60 °С приводит к сильному смещению кривой охлаждения раствора НСВ вправо, что свидетельствует о снижении охлаждающей способности среды. Это означает, что при неизбежном нагреве закалочной среды в процессе эксплуатации прокаливаемость деталей будет резко снижаться. В значительно меньшей степени нагрев влияет на охлаждающую способность раствора ЗС, который получил название Акресол.

В настоящей работе изучены охлаждающие способности водных растворов полимера «Термовит-М». Исследуемая закалочная жидкость представляет собой водный раствор полимера «Термовит-М» производства ЗАО НПО «Промэкология» г. Омск, который изготавливают в соответствии с техническими условиями ТУ 2219-040-23763375-2006. От ближайших аналогов «Термовит-М» отличается долговременной стабильностью, более высокой воспроизводимостью показателя твёрдости изделий. Закалочный раствор, приготовленный на основе концентрата «Термовит-М», при соответствующем контроле и корректировке способен работать без замены не менее года. Для определения оптимальной концентрации полимера «Термовит-М» в водном растворе были исследованы охлаждающие способности 2; 4; 4,5; 5 и 8 % водополимерных растворов, нагретых в диапазоне температур 20 – 60 °С в сравнении с охлаждающими способностями масла и воды. Охлаждающую способность закалочных сред изучали при помощи прибора «Компатон» производства ЗАО НПО «Промэкология» г. Омск [7].

В результате были получены кривые охлаждения, сравнительный анализ которых показал, что вместо индустриального масла И-20 А могут успешно использоваться водополимерные растворы с концентрацией 4 и 4,5%, охлаждающие способности которых занимают промежуточное положение между кривыми охлаждения, соответствующими маслу и воде (рисунок 4).

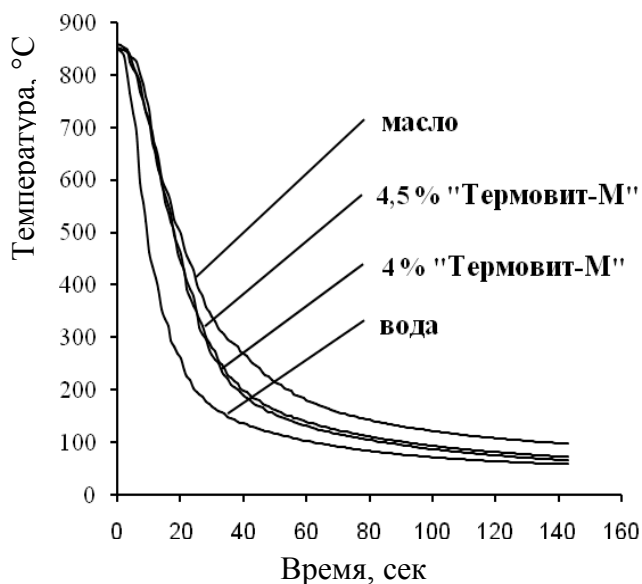
Для апробация 4 и 4,5 % водных растворов полимера были выбраны стали марок 35ХГСА, 5ХВ2С, ШХ15 и 40Х. После закалки образцов из исследуемых марок сталей в водных растворах полимера «Термовит-М» была обеспечена необходимая твёрдость при отсутствии закалочных трещин. По полученным микроструктурам можно судить о том, что они не уступают микроструктурам образцов, полученным после закалки в индустриальном масле И-20 А.

Таким образом, в работе рассмотрены охлаждающие способности различных водополимерных растворов, которые могут успешно использоваться вместо минеральных масел при закалке сталей. Лучшими закалочными средами являются «Термовит-М», УЗСП-1 и ПК-М.



а)

б)



в)

Рисунок 4 – Охлаждающая способность различных закалочных сред при температуре ванны 20 °С (а), 40 (б) и 60 °С (в)

#### Библиографический список

1. Звигинцева Г.Е., Николаева Н.Л., Эйсмонтт Ю.Г. Охлаждающие свойства водных растворов полимера ПК-2 // МиТОМ. - 1986. - № 10. - С.16-19.
2. Горюшин В.В., Шевченко С.Ю., Ковалёва С.А. Применение охлаждающей среды УЗСП-1 при спрейерной закалке зубчатых колёс // МиТОМ. – 2007. - № 6. – С.33 – 36.
3. Кобаско Н.И., Швец Ю.И., Фиалко Н.М. и др. Охлаждающая способность водного раствора полимера ПК-2 при различных температурах // МиТОМ. – 1985. - № 9. – С.2 – 5.
4. Кобаско Н.И. Закалочные среды // Металловедение и термическая

обработка: Сборник (Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР). – М.: 1989. – Т.23. – С. 127 – 166.

5. Темлянцев М.В., Осколкова Т.Н. Трещинообразование в процессах нагрева и охлаждения сталей и сплавов / М.В. Темлянцев, Т.Н. Осколкова. – М.: Флинта, Наука, 2005. – 196 с.

6. Горюшин В.В., Шевченко С.Ю., Петропавловский А.Г. и др. Новая полимерная закалочная среда Акресол // МиТОМ. – 2008. - № 4. – С. 49 – 52.

7. Шорохова О.В., Осколкова Т.Н. Изучение охлаждающей способности водополимерной среды «Термовит-М» при закалке // Вестник горно-металлургической секции российской академии естественных наук. Отделение металлургии. - 2010. - №26. - С. 81 – 85.

УДК 669.1.046

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ В ЧУГУНЕ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ

Цюпка Ю.С., Динкевич А.С., Лубяной Д.Д.  
Научный руководитель: Синявский И.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Опытным путем была получена зависимость роста эксплуатационной стойкости поддонов от увеличения содержания кремния в чугуне от 0,8 до 1,0% (рисунок 1). Для дальнейшего изучения влияния кремния на эксплуатационную стойкость поддонов были отлиты опытные поддоны, на которых варьировалось содержание кремния от 0,97% до 1,3% (рисунки 2, 3).



Рисунок 1 – Влияние содержания кремния на стойкость поддонов

Данные по эксплуатационной стойкости поддонов и фотографии микроструктуры чугуна в зависимости от содержания кремния, представленные на рисунках 2, 3 убедительно свидетельствуют, что с увеличением содержания кремния в чугуне стойкость поддонов увеличивается до оптимального значения 1,15%. Статистической обработкой выявлено оптимальное содержание кремния в чугуне (рисунок 3).

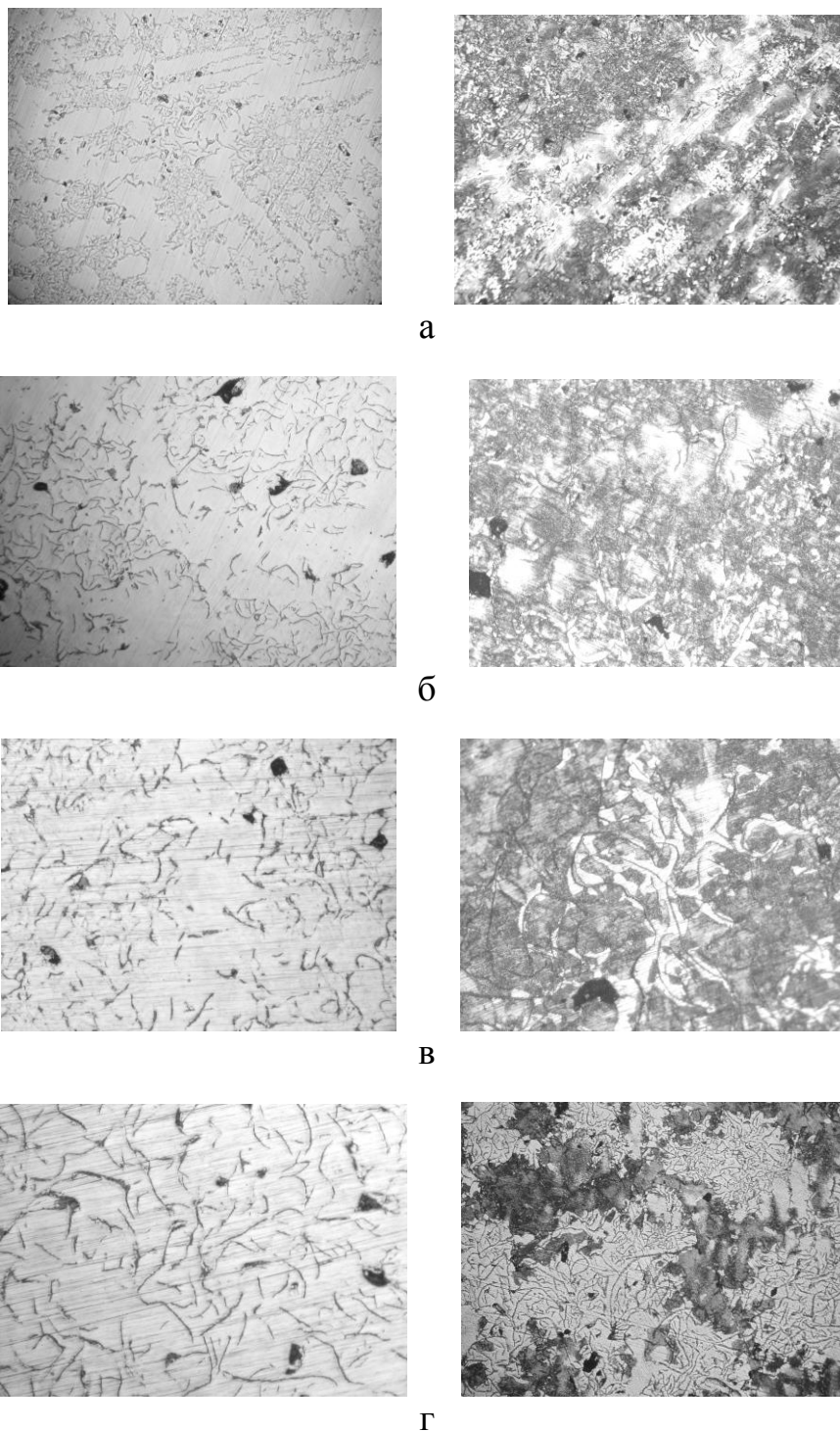


Рисунок 2 – Влияние содержание кремния на металлическую основу и графитную фазу поддонов x100  
 а) Si – 0,97%; б) Si – 1,02%; в) Si – 1,10%; г) Si – 1,21%



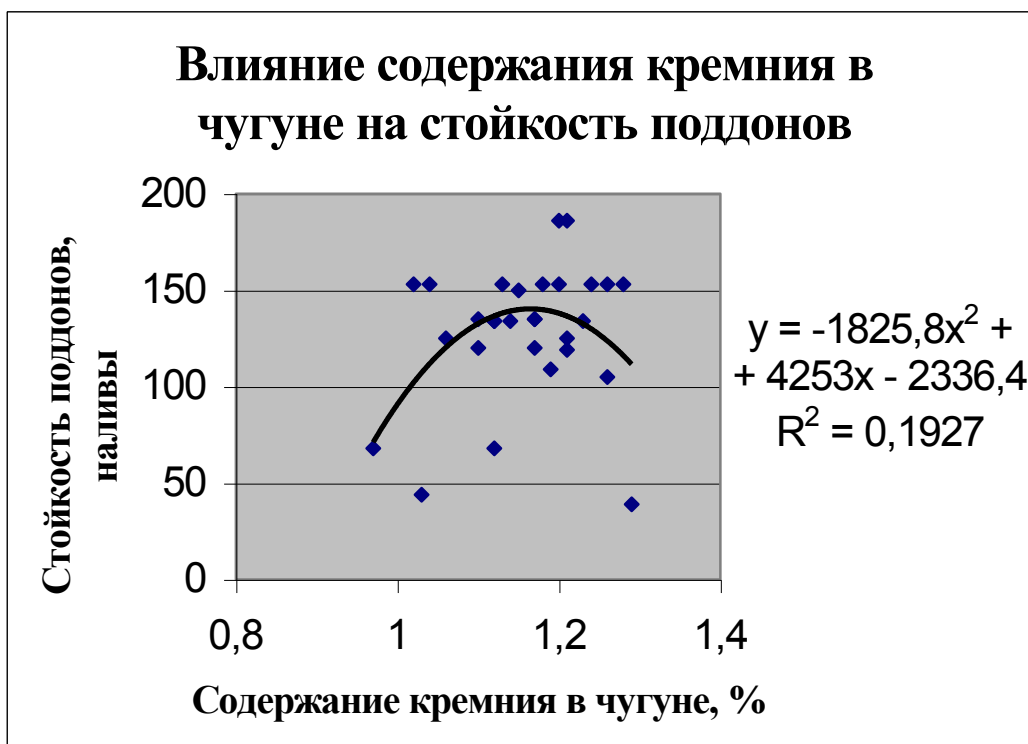


Рисунок 3 – Влияние содержания кремния на стойкость поддонов

Сопоставляя данные химического анализа с параметрами микроструктуры можно констатировать следующее:

1. Повышение стойкости поддонов при увеличении содержания кремния с 0,97 % до 1,15% объясняется исключением цементитной составляющей в структуре чугуна, увеличением размера включений графита с 25-40 до 90-180, а также наличием в структуре чугуна преимущественно перлитной (70-92%) составляющей.

2. Снижение стойкости поддонов при увеличении содержания кремния с 1,15% до 1,3% объясняется увеличением в структуре чугуна ферритной составляющей и увеличением размера графитных включений, что приводит к падению прочностных свойств, что в свою очередь приводит к увеличению размыва поддонов. С учетом всех выявленных зависимостей предложен химический состав серого термостойкого чугуна для литья сменного сталеразливочного оборудования (таблица 1).

Таблица 1 – Экономнолегированный чугун для поддонов, изложниц, крышек промежуточных ковшей МНЛЗ

| C, %      | Si, %      | Mn, %     | Cr, % | Ti, %       | V, %        |
|-----------|------------|-----------|-------|-------------|-------------|
| 3,8 – 4,0 | 0,8 – 1,05 | 0,4 – 0,7 | ≤0,15 | 0,02 – 0,06 | 0,02 – 0,05 |
| 3,8 – 4,0 | 1,05 – 1,3 | 0,4 – 0,6 | ≤0,15 | 0,06 – 0,15 | 0,06 – 0,15 |

Применение чугунов данного химического состава позволило значительно повысить эксплуатационную стойкость поддонов на ОАО

«ЗСМК», а также значительно снизить расход ферросилиция на тонну чугуна вследствие снижения содержания кремния в чугунах с 1,8 – 2,0% до 0,8 – 1,3%.

#### Библиографический список

1. Лубяной Д.А. Эффективность современных способов повышения качества изделий из чугуна и развитие металлургических и машиностроительных предприятий в условиях конкуренции / Д.А. Лубяной, Н.И. Новиков – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2004. – 131 с.

УДК 669.1.046

### **ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ФУРМ ДЛЯ ПРОДУВКИ РАСПЛАВА МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНО – ПУЛЬСИРУЮЩЕГО РАФИНИРОВАНИЯ**

**Сильченко М.В., Динкевич А.С., Лубяная С.В.**

**Научный руководитель: Синявский И.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

После выплавки в структуре чугуна наблюдается повышенное содержание газов, неметаллических включений и большая неоднородность химического состава. Чтобы получить чугун с требуемыми свойствами необходимо провести внепечную обработку. Эффективным способом, позволяющим усреднить химический состав и повысить физические свойства, является продувка металла нейтральными газами. Наиболее известный способ продувки нейтральным газом – через погруженную сверху в ковш футерованную полую металлическую трубу-фурму. Основные параметры режима продувки – время и расход газа, должны быть подобраны таким образом, чтобы достигалось эффективное перемешивание металла без выплесков его из ковша. Высокая степень рафинирования металла от газов и неметаллических включений достигается при большом количестве и высокой степени дисперсности в расплаве пузырьков нейтрального газа. В этом случае наблюдается повышенный переход водорода из расплава в газовые пузыри и удаление неметаллических включений и спелевого графита из расплава. На Западно-Сибирском металлургическом комбинате с целью наиболее эффективного рафинирования разработан способ резонансно-пульсирующего рафинирования (РПР). Сущность резонансно-пульсирующего рафинирования заключается в наложении на металл колебаний путем пульсирующего дутья, в спектре которого имеется низкочастотная составляющая, совпадающая с собственной частотой колебаний металла в ковше. Для реализации данного способа рафинирования используют дутьевое устройство, генерирующее

низкочастотную составляющую. В качестве источника колебаний используют газодинамические пульсаторы. Принцип их действия состоит в следующем. В потоке движущегося со скоростью  $v$  газа находится плохообтекаемое тело, за которым образуется вихревой след. Вихри сбегают с определенной периодичностью, зависящей от формы тела, образуется вихревая дорожка с попеременным изменением направления вихрей. Угловая частота отделения вихрей зависит от скорости потока выдуваемого газа и диаметра цилиндра. Меняя частоту отделения вихрей, можно достичь тех частот, при которых размеры неразрушившегося газового ядра становятся минимальными, что является оптимальным как с точки зрения перемешивания металла, так и с точки зрения подавления вторичного окисления металла атмосферой при нарушении сплошности шлакового слоя на поверхности жидкого металла.

Метод резонансно-пульсирующего рафинирования, являясь эффективным способом внепечной обработки, может иметь существенные резервы повышения качества металла [1]. Это повышение зависит от разновидности конструкций применяемых для продувки фурм. Продувка расплава в ковше происходит через погружаемые фурмы аргоном или азотом. Фурма представляет собой стальную толстостенную трубу, футерованную стопорными огнеупорными кольцами. На конце трубы имеется сквозное отверстие. На рисунке 1 представлены различные типы фурменных наконечников.

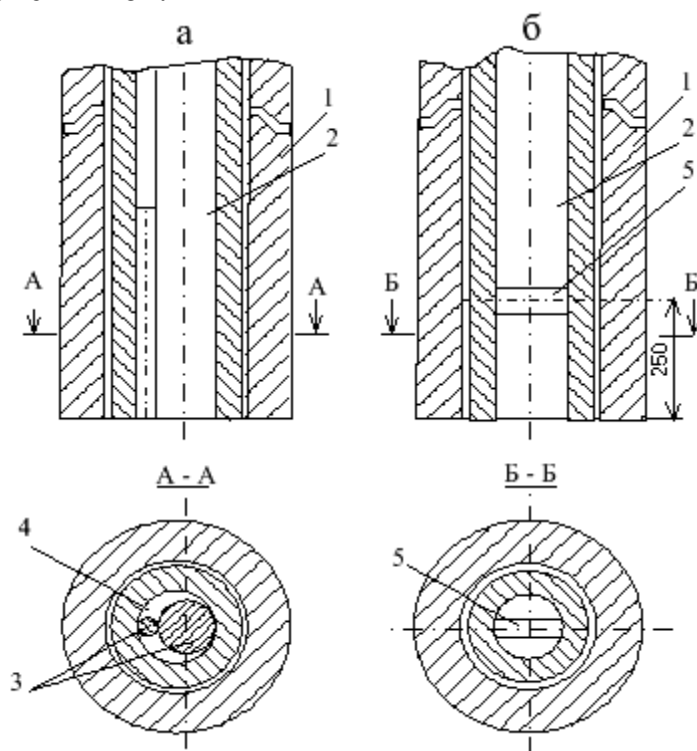


Рисунок 1 – Схема фурм с серповидным соплом (а) и соплом с цилиндрическим пульсатором (б):

- 1 – огнеупорная труба; 2 – стальная труба для подачи газа;
- 3 – фурменный наконечник со стержнем; 4 – серповидная щель;
- 5 – цилиндрический пульсатор

Как показали исследования на ковшах малой емкости, продувка чугуна индукционной плавки с применением фурм с серповидным соплом (рис. 1, а) и пульсатором (рис. 1, б), при одинаковых расходе газа и глубине погружения, приводит к образованию в расплаве областей, насыщенных мелкими газовыми пузырьками, при этом не образуются крупных выплесков и бурунов. Однако, сравнительный анализ влияния конструкции вышеуказанных фурм на процессы, происходящие в расплаве при продувке, указывает на некоторые различия. Продувка фурмой с серповидным наконечником (высокоскоростная продувка) характеризуется более сильным внедрением струи газа в слой жидкости, при этом наблюдается более сильное перемешивание жидкости в объеме ковша, а также в области раздела металл–шлак, что приводит к затягиванию частиц шлака в металл, способствуя протеканию реакции в системе металл–шлак. Продувка расплава чугуна через фурмы с наконечником в виде цилиндрического пульсатора (рис. 1, б) характеризуется другим характером истечения газа и отличается от высокоскоростной продувки через серповидную фурму. Здесь глубина внедрения струи газа в металл значительно меньше, чем при продувке серповидной фурмой, но больше, чем при простой продувке через цилиндрическое сопло. Наличие пульсатора приводит к увеличению скорости истечения газа, внедрению струи газа в жидкость на более значительную глубину и получению дисперсной газовой фазы в виде пузырьков. Расчет дутьевых параметров промышленных фурм проводили исходя из необходимости получения в потоке низкочастотной составляющей, совпадающей с собственной частотой колебания металла в ковше. Анализируя частотные характеристики, полученные в эксперименте с применением промышленной установки и использованием импульсного прецизионного шумометра RFG00017, пришли к выводу, что наибольший уровень звукового давления в среде и высокочастотной областях приходится на частоты 63 – 250 Гц, что соответствует расходу газа 8 – 16 м<sup>3</sup>/ч и минимальному размеру неразрушившегося газового ядра. Такой режим продувки для 10-тонных ковшей литейного цеха при продувке аргоном является оптимальным, так как при этом не наблюдается явно выраженного пятна бурления в ковше и, соответственно, вторичного окисления металла, что обеспечивает высокую степень рафинирования металла от газов в ковше (таблица 1).

Время продувки влияет на размер и форму графита чугуна (рисунок 2), зависимость параметров графитной составляющей от времени представлена в таблице 2.

Таблица 1 – Газосодержание в чугунах при различных режимах пульсирующей продувки

| Режим продувки                                   | Расход газа, м <sup>3</sup> /ч | Время гомогенизации, мин, | Содержание активного кислорода, % |                      | Содержание кислорода, в чугуне, полученном методом вакуумного плавления, % |                | Содержание азота, % |                |
|--|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|--|----------------|---------------------|----------------|
|  |                                |                           | до продувки                       | после продувки       | до продувки  | после продувки | до продувки         | после продувки |
| Пульсирующая продувка<br>1-я резонансная частота | 6 – 8                          | 1–3                       | $1,46 \cdot 10^{-4}$              | $1,09 \cdot 10^{-4}$ | –  | –              | 0,0110              | 0,0110         |
| 2-я резонансная частота                          | 16 – 18                        | 2– 4                      | $1,33 \cdot 10^{-4}$              | $1,27 \cdot 10^{-4}$ | 0,004  | 0,002          | 0,0085              | 0,0070         |
| нерезонансная частота                            | 10 – 13                        | 4– 6                      | $1,95 \cdot 10^{-4}$              | $2 \cdot 10^{-4}$    | 0,004  | 0,004          | 0,010               | 0,009          |
| Стационарная продувка аргонном                   | 20                             | 4 – 7                     | $2,05 \cdot 10^{-4}$              | $2,01 \cdot 10^{-4}$ | –  | –              | 0,010               | 0,010          |

Таблица 2 – Влияние времени продувки на размер и форму графита в чугуне

| № изложницы | Время продувки, мин | Графит |                   |    |     |
|-------------|---------------------|--------|-------------------|----|-----|
|             |                     | ПГф    | ПГд               | ПГ | ПГр |
| 1           | 7,5                 | 1      | 350;750           | 10 | 1   |
| 2           | 13                  | 1      | 25 (20%); 45; 350 | 10 | 1:9 |
| 3           | 15                  | 1      | 90; 180           | 10 | 1:3 |



а



б



в

Рисунок 2 – Микроструктура чугуна, продутого азотом с продолжительностью: а – 7,5 мин; б – 13 мин; в – 15 мин,  $\times 100$

Опытным путем было выяснено, что для получения благоприятной формы графита (рис. 3, в) необходимо продувать чугун азотом не менее 10 минут, увеличение времени продувки с 10 до 15 минут позволяет увеличить степень усвоения ферросилиция более чем на 10%, что также улучшает качество чугуна.

Исходя из вышеизложенного для продувки чугуна азотом в 60-тонном ковше цеха изложниц методом резонансно-пульсирующего рафинирования были реализованы следующие режимы:

– при нормальной температуре чугуна плавильщик устанавливает давление азота перед фурмой 2,0 атм и опускает фурму в чугун, постепенно повышая давление до 2,0–3,5 атм. При достижении фурмой крайнего нижнего положения, сопло фурмы должно находиться на расстоянии не

более 0,5 м от футеровки днища ковша. Дальнейшая обработка чугуна азотом ведется по визуальной оценке перемешивания металла в ковше (без разбрызгивания чугуна и шлака);

– длительность продувки чугуна азотом через две фурмы не менее 10 минут. Расход газа при продувке двумя фурмами составляет:

– на первой фурме при продувке расплава в резонансном режиме – 10, 11, 12 или 15 м<sup>3</sup>/ч;

– на второй фурме – 10 – 40 м<sup>3</sup>/ч.

Данные конструкции фурм могут быть рекомендованы для внедрения на других металлургических и машиностроительных предприятиях.

#### Библиографический список

1. Лубяной Д.А. Эффективность современных способов повышения качества изделий из чугуна и развитие металлургических и машиностроительных предприятий в условиях конкуренции / Д.А. Лубяной, Н.И. Новиков – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2004. – 131 с.

УДК 621.791:624.014.45(571.51)

### **ИЗГОТОВЛЕНИЕ НЕФТЕНАЛИВНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ В СЕВЕРНОМ ИСПОЛНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Крюков Р.Е.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Козырев Н.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Эксплуатационная стойкость резервуаров определяется не только металлургическим качеством стали, характеризующимся составом стали, механическими свойствами, микро – и макроструктурой, загрязненностью стали неметаллическими включениями, но и технологией изготовления сварной конструкции изделия. Особая роль при этом отводится сварным конструкциям, работающим при отрицательных температурах окружающей среды.

ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» освоил технологию изготовления резервуаров для нефтепродуктов в северном исполнении. В настоящее время изготовление резервуаров производится в соответствии с «Правилами устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов» ПБ-03-605-03. Рулонирование представляет собой индустриальный метод сворачивания в рулоны сварных полотнищ, собранных из отдельных обработанных по периметру листов. Технологический процесс сборки, сварки, контроля и сворачивания в рулоны полотнищ стенок резервуаров

производится на специальных установках для рулонирования, действующих по двум основным схемам с нижним и верхним сворачиванием. Применяется двусторонняя автоматическая дуговая сварка под флюсом стыковых швов: на верхнем ярусе и на нижнем ярусе после протягивания полотнища с помощью барабана.

Для изготовления резервуаров, работающих в условиях крайнего севера, применяются низколегированные стали. Широкое применение нашла кремнемарганцовистая сталь 09Г2С.

Сталь 09Г2С с низким содержанием углерода относится к ферритно-перлитному классу, обладает удовлетворительной свариваемостью, достаточно большим пределом выносливости и малой склонностью к хрупкому разрушению, что обеспечивает надежную работу сварных конструкций в течение длительного времени [1].

Указанные преимущества, а также высокая стойкость к циклическим нагрузкам способствует тому, что стали этого класса находят все большее применение для изготовления сварных конструкций. Однако в ряде случаев их использование связано с преодолением ряда трудностей, возникающих при сварке. Прежде всего необходимо сформировать такую структуру, которая обеспечивала бы равнопрочность сварного соединения и основного металла, достаточно хорошие свойства при отрицательных температурах. Последнее достигается путем подбора соответствующего состава металла шва.

При разработке технологии сварки на заводе были опробованы различные композиции проволок с флюсами, в результате чего выбраны оптимальные составы сварочных материалов и режимы сварки, обеспечивающие получение сварного шва с высокими механическими свойствами и ударной вязкостью при отрицательных температурах.

Для сварки конструкций в северном исполнении, позволяющих при высокой производительности сварки, обеспечить необходимый уровень механических свойств, при работе в температурных условиях ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  обычно используются сварочные проволоки марок Св-08ГА, Св-10НМА и Св-12М и окислительные флюсы, предназначенные для сварки низколегированных сталей.

При сварке стали 09Г2С под флюсом проволокой Св-08ГА формируется преимущественно ферритно-перлитная структура, проволокой Св-10НМА ферритно-перлитная с мелкодисперсными темнотравящимися выделениями, состоящими из бейнита, мартенсита и остаточного аустенита без заметной ориентировки, проволокой Св-12М – доэвтектоидный феррит, мелкодисперсный перлит и темнотравящиеся участки с грубой ориентировкой.

Ориентированные выделения избыточного феррита отрицательно сказываются на ударной вязкости швов. Тем не менее металл шва со структурой нижнего бейнита даже при наличии доэвтектоидного феррита имеет вполне удовлетворительную ударную вязкость и обладает достаточно



высокой прочностью.

На механические свойства металла шва, особенно на вязкость оказывает большое влияние также состав флюса и режим сварки. Для сварки низколегированных сталей широко применяются окислительные флюсы марок АН-348А, АН-67Б, АН-60 [2].

Флюсы АН-348А и АН-60 относятся к группе высококремнистых высокомарганцовистых оксидных флюсов. При сварке под этими флюсами интенсивно протекают кремне- и марганцевосстановительный процессы. Ударная вязкость металла швов при 20<sup>0</sup>С обычно не превышает 120 Дж/см<sup>2</sup> при сварке под флюсом АН-348А и составляет до 150 Дж/см<sup>2</sup> при сварке под флюсом АН-60.

Флюс АН-67Б относится к группе низкокремнистых среднемарганцовистых. При сварке под этим флюсом окислительно-восстановительные процессы протекают вяло. В среднем ударная вязкость металла швов составляет 150 Дж/см<sup>2</sup> при 20<sup>0</sup>С. Флюс хорошо зарекомендовал при сварке металлоконструкций, работающих при отрицательных температурах.

Наибольшее распространение для автоматической дуговой сварки под слоем флюса металлоконструкций из стали 09Г2С нашли применение проволока Св-08ГА с флюсом АН-348А. Флюс стекловидный, дает глубокое проплавление, хорошее формирование, с плавным переходом к основному металлу. Металл шва имеет высокие механические свойства, однако, получаемая удовлетворительная ударная вязкость металла шва при плюсовой температуре, снижается при отрицательных температурах до значений ниже допустимых при - 40<sup>0</sup>С. Низкие значения ударной вязкости при отрицательных температурах, по-видимому, связаны с повышенным содержанием кислорода в швах. Кислород в металле шва накапливается за счет окислительно-восстановительных процессов между жидким металлом и шлаком. Данный флюс не рекомендуется для сварки конструкций, работающих в условиях севера и при температуре ниже -30<sup>0</sup>С [2].

Флюс АН-67Б пемзовидный, способствует получению металла шва с высокой ударной вязкостью, но имеет следующие недостатки: малое проплавление свариваемого металла и неудовлетворительное формирование шва. Ухудшение формирования шва связано со снижением содержания окислов кремния во флюсе. С целью использования положительных характеристик флюса АН-67Б, улучшения формирования шва и увеличения глубины проплавления сварку выполняли под смесью флюсов АН-348А и АН-67Б.

Флюс АН-60 пемзовидный, используется при сварке на форсированных режимах, позволяет получать металл шва с низким содержанием кислорода и высокой ударной вязкостью, широко применяется в промышленности. Флюс имеет недостатки: малое проплавление свариваемого металла, неудовлетворительные санитарно-гигиенические условия труда при сварке под флюсом. Сварка под смесью флюсов АН-60 и

АН-348А позволила получить глубокое проплавление, хорошее формирование шва и высокие механические свойства металла шва.

Наибольшее распространение для сварки ответственных металлоконструкций из стали 09Г2С, работающих при отрицательных температурах нашли проволоки с пониженным содержанием углерода: Св-08ГА и Св-10НМА. Проволока Св-10НМА в отличие от Св-08ГА содержит больше углерода, а также никель и молибден, которые значительно повышают прочность металла шва и ударную вязкость при отрицательных температурах. Опыты показали, что хорошие результаты при сварке низколегированной стали 09Г2С были получены при использовании проволоки Св-10НМА под смесью флюсов АН-348А и АН-60 при соотношении 1:1. Механические свойства металла шва и ударная вязкость превышала допустимые значения при отрицательных температурах. Формирование шва хорошее с плавным переходом к основному металлу. Применение проволоки Св-10НМА для сварки швов на верхнем ярусе нежелательно, так как возможно образование трещин в швах при протягивании полотнища стенки с верхнего яруса на нижний и изгибе полотнища на барабане. При изгибе полотнища швы работают на растяжение и возможно появление холодных трещин, что связано с наличием в металле шва структуры закалки – мартенсита и бейнита. Данные сварочные материалы можно применять при сварке без трещинообразования только на нижнем ярусе.

Оптимальной композицией сварочных материалов при сварке стыковых швов на верхнем ярусе является проволока Св-08ГА под смесью флюсов АН-348А и АН-67Б при соотношении 1:1. При сварке данной проволокой металл шва получается пластичным, без структур закалки. Металл шва имеет высокие механические свойства. Добавка флюса АН-67Б снижает скорость протекания окислительно-восстановительных процессов, способствует уменьшению кислорода в шве и позволяет повысить ударную вязкость металла шва до 130-140 Дж/см<sup>2</sup> при температуре 20<sup>0</sup>С. При деформации полотнища стенки на барабане трещины в швах не образуются.

В результате проведенных работ была выбрана оптимальная технология сварки полотнищ стенок резервуаров, работающих в условиях низких отрицательных температур - двусторонняя сварка: с внутренней стороны резервуара проволокой Св-08ГА (на верхнем ярусе) под смесью флюсов АН-348А и АН-67Б при соотношении 1:1, с наружной стороны проволокой Св-10НМА (на нижнем ярусе) под флюсом АН-348А и АН-60 при соотношении 1:1. Сварку осуществляли без разделки кромок до толщин листа 16 мм.

На верхнем ярусе стыковые швы сваривались на пониженных режимах, обеспечивающих проплавление металла до 0,55 толщины листа.

На нижнем ярусе сварка производилась на большем токе, позволившем получить проплавление металла до 0,7 толщины листа.

При рассмотренной схеме сварки стыковых швов полотнищ стенок

резервуаров, получаемый металл шва состоит в основном из металла, полученного переплавлением основного металла 09Г2С и электродного металла Св-10НМА. Механические свойства и ударная вязкость сварных соединений и швов превышали допустимые при температуре – 40<sup>0</sup>С (табл.). Механические свойства и ударную вязкость металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ) КСУ определяли при температуре -50<sup>0</sup>С. Дополнительные значения ударной вязкости КСV для швов, работающих при температурах -40<sup>0</sup>С, согласно «Правил устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов» ПБ-03-605-03 должны определяться при температуре -20<sup>0</sup>С.

В работе также определялась твердость сварных соединений. Твердость металла сварного соединения не превышала допустимых значений (280 НВ). Твердость металла в ЗТВ равнялась (120-130) НВ, наибольшая твердость металла имела место в сварном шве и составила (160-170) НВ, что связано с наличием структур закалки.

Таблица – Механические свойства сварного соединения

| Объект                  | Механические свойства        |                       |                            | Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> |                                |                    | Температура испытаний, °С |
|-------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------|
|                         | Временное сопротивление, МПа | Предел текучести, МПа | Относительное удлинение, % | Сварной шов, КСУ                     | Зона термического влияния, КСУ | Сварной шов, КСV   |                           |
| Сварное соединение      | <u>523</u><br>518-528        | <u>375</u><br>370-380 | <u>25</u><br>23-27         |                                      | <u>90</u><br>87-93             |                    | -50                       |
| Сварной шов             | <u>535</u><br>530-540        | <u>360</u><br>355-365 | <u>25</u><br>23-27         | <u>70</u><br>67-73                   |                                |                    | -50                       |
|                         |                              |                       |                            |                                      |                                | <u>40</u><br>37-43 | -20                       |
| Требования ПБ-03-605-03 | ≥490                         | ≥350                  | ≥21                        | ≥35                                  | ≥35                            |                    | -40                       |
|                         |                              |                       |                            |                                      |                                | ≥30                | -20                       |

Примечание. В числителе приведены средние значения механических свойств и ударной вязкости, полученные по результатам испытаний, в знаменателе минимальные и максимальные.

Разработанная технология сварки резервуаров для нефтепродуктов, работающих в условиях крайнего севера, заключающаяся в двусторонней сварке: с внутренней стороны резервуара проволокой Св-08ГА (на верхнем ярусе) под смесью флюсов АН-348А и АН-67Б при соотношении 1:1, с наружной стороны проволокой Св-10НМА (на нижнем ярусе) под флюсом АН-348А и АН-60 при соотношении 1:1, позволила получить требуемые механические свойства резервуарных металлоконструкций согласно требований ПБ-03-605-03 «Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов», исключить дефекты – трещины и обеспечить высокую производительность

при изготовлении.

### Библиографический список

1. Грабин В.Ф. *Металловедение сварки плавлением.*- Киев: Наукова думка, 1982. - 416с.
2. *Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие в 2т.*  
Т. 1. *Защитные газы и сварочные флюсы* /Конищев Б.П., Курланов С.А., Потапов Н.Н. и др./Под общ. ред. Потапова Н.Н.- М.: Машиностроение, 1989. - 544с.

УДК 621.791

## **МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОДОВ**

**Власов И.С., Маркевич В.М.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Игушев В.Ф.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Покрытие электродов для ручной дуговой сварки выполняет сложную роль при сварке. Оно обеспечивает горение дуги, надежную газошлаковую защиту расплавленного металла от окружающей среды, требуемый химический состав, сварочно-технологические и механические свойства металла шва. Составом покрытия регулируется перенос и разбрызгивание расплавленного металла, формирование шва и отделимость шлаковой корки, определяются физико-химические свойства шлака, от которых зависит возможность сварки во всех пространственных положениях. Состав покрытия влияет на скорость плавления и производительность, на форму шва и глубину проплавления основного металла.

Современные электродные покрытия – это сложные многокомпонентные системы. Входящие в них металлы выполняют разнообразные металлургические и технологические функции. Рациональное сочетание различных компонентов покрытия позволяет обеспечить заданные свойства, как металла, так и электродов. На этом основано деление материалов покрытий на шлакообразующие, газообразующие, легирующие, раскислители, модификаторы структуры, пластификаторы, стабилизаторы и связующие. В качестве материалов покрытий используют порошки минералов, руд и концентратов, ферросплавов и лигатур, чистых металлов, химикатов, силикатов и др.

Большинство покрытий электродов для сварки сталей по характеру металлургического воздействия на металл шва можно отнести к одному из следующих типов.

Кислое (руднокислое) покрытие, основу которого составляют оксиды марганца, железа и кремния. При плавлении образуются шлаки с ярко выраженными окислительными свойствами и затвердевающие в виде отделяющейся сотовой структуры. Газовую защиту обеспечивают небольшие добавки органических компонентов, например, целлюлозы. В качестве раскислителя и легирующего компонента используют ферромарганец. С энергетической точки зрения электроды с таким покрытием имеют ряд преимуществ: характеризуются достаточно высокой скоростью расплавления, обеспечивают сварку в форсированных режимах. Электроды с кислым покрытием обладают высокой проплавающей способностью. Они наиболее технологичны при сварке в нижнем положении, но могут применяться и для выполнения вертикальных и горизонтальных швов.

С металлургической точки зрения электродам с кислым покрытием присущ ряд существенных недостатков: металл шва имеет повышенное содержание кислорода, фосфора, серы и чувствителен к образованию холодных и горячих трещин, особенно при сварке спокойных сталей. Электроды с руднокислым покрытием обеспечивают весьма посредственный уровень характеристик механических свойств металла шва, неблагоприятны по санитарно-гигиеническим показателям. Поэтому область применения их ограничена. В настоящее время ведутся работы по совершенствованию данных покрытий с целью уменьшения выделения паров составляющих компонентов и продуктов химических реакций и увеличения механических свойств металла шва.

Рутиловое покрытие. В настоящее время электроды общего назначения выпускают в основном с рутиловым покрытием. Они обладают высокими сварочно-технологическими свойствами, обеспечивающими получение швов с гладкими и плавными очертаниями во всех пространственных положениях, удовлетворительными для конструкций уровнем механических свойств металла шва. В состав покрытия вводят большое количество железного порошка для повышения коэффициента наплавки. Электроды имеют хорошие санитарно-гигиенические свойства при их изготовлении и при сварке. Покрытия рутиловых электродов содержат до 29-50% рутила. Кроме того, они содержат минеральные силикаты: слюду, полевои шпат, маршаллит; карбонаты: магнезит, мрамор; небольшие добавки органических компонентов: целлюлозу. В качестве легирующего и раскисляющего компонента используют ферромарганец.

Титаносиликатные шлаки обладают более слабой окислительной способностью, чем кислые шлаки – силикаты, характерные для кислого и окислительного покрытий, поэтому металл шва при сварке электродами с рутиловым покрытием в меньшей степени загрязнен эндогенными неметаллическими включениями, что в основном и предопределяет его более высокие вязкопластические свойства.

В последнее время в связи с дефицитом рутила получили

распространение электроды с ильменитовым покрытием, например, АНО-6, АНО-17, АНО-32, МИД-2, МИС-1. Большинство из этих электродов имеют большое разбрызгивание металла, покрытие плохо плавится, имеет козырек. Металл шва, полученный с помощью электродов с ильменитовым покрытием, содержит значительное количество неметаллических включений.

Целлюлозное покрытие. При введении в рутил-силикатное покрытие 30-40% целлюлозы электроды приобретают ярко выраженные газозащитные свойства. Раскисление сварочной ванны осуществляется с помощью ферромарганца. Введение активных раскислителей (ферромарганца и ферросилиция) увеличивает чувствительность металла шва к образованию пор. Уровень механических свойств металла шва примерно такой же, как и при сварке электродами с рутиловым покрытием.

Электроды с целлюлозным покрытием характеризуются высокой проплавающей способностью и значительной скоростью расплавления. Количество образующегося сварочного шлака невелико, он легко отделяется даже при сварке многослойных швов в достаточно глубокие разделки.

К недостаткам этих электродов следует отнести повышенные потери электродного металла на разбрызгивание, образование узких трещиноподобных подрезов по свариваемым кромкам, грубочешуйчатую поверхность швов, высокий уровень содержания в металле шва диффузионно-подвижного водорода.

Большое распространение получили электроды с основным покрытием, основой которого являются карбонат кальция и плавиковый шпат. В состав покрытия вводят также минеральные силикаты (кварц, гранит и т.д.) и несколько раскислителей одновременно (ферромарганец, ферросилиций и ферротитан, реже вместо ферротитана используют алюминиевый порошок). С металлургической точки зрения, образующийся шлак, содержащий оксиды кальция, кремния, железа, алюминия, носит ярко выраженный основной характер, что отличает его от ранее рассмотренных шлаковых систем. Шлак имеет плотное строение, коричневый или темно-коричневый цвет и блестящую стекловидную поверхность. Его отделимость хуже, чем титаносодержащих шлаков рутиловых и целлюлозных электродов.

Сварку электродами с основным покрытием осуществляют на постоянном токе обратной полярности. Основной шлак, как правило, пригоден для сварки всех пространственных положений. Диссоциация карбонатов основного покрытия обеспечивает газовую защиту расплавленного металла, а основной шлак – десульфурацию металла. Физические свойства основного шлака определяют достаточно полное интенсивное удаление металла шва неметаллических включений. Удаление кислорода и модифицирование металла шва происходит благодаря использованию активных раскислителей. Малое содержание оксидных включений в металле шва в сочетании с благоприятным составом сульфидных фаз обуславливает высокие вязкопластические свойства

металла шва и хорошую сопротивляемость образованию горячих трещин.

К недостаткам основного покрытия электродов следует отнести: низкую технологичность при сварке переменным током; трудности при изготовлении, в частности, необходимо применение особых добавок, пластифицирующих обмазочную массу, чувствительность к порообразованию при увлажнении покрытия и наличия влаги, окалина или ржавчины на свариваемых кромках. В связи с высокой степенью раскисления сварочная ванна адсорбирует водород в значительно большем количестве, чем кипящая.

УДК 621.791.76.

## **СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ С ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПАМЯТЬЮ**

**Бобков А.Е., Интяпин И.В., Стакин А.Ю.**

**Научный руководитель: к.т.н., профессор Рудаков С.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Титано-никелевые сплавы прочно заняли свои позиции в технике и медицине при изготовлении принципиально новых конструкций с эффектом памяти формы. В ряде организаций разработаны и применяются для различных целей достаточно большие группы материалов с высокостабильными физико-механическими и химическими свойствами для конкретных областей.

Необходимость более глубокого изучения особенностей этих материалов мотивируется тем, что свойства этих материалов могут служить основой для проектирования конструкций, не являющихся разнородными элементами с тканями живых организмов и это может закладываться в функциональные характеристики материалов и изделий из них.

В СибГИУ ведутся работы по созданию сварных вариантов конструкций из никелида титана для снижения отходов и стоимости изделий.

Применение известных в настоящее время способов сварки позволило выделить наиболее пригодные. Способы сварки плавлением часто приводят к значительному изменению химсостава металла и, как следствие, к появлению неоднородности по физико-механическим характеристикам и в ряде случаев к полной непригодности сварного изделия к эксплуатации. Даже выбор инертной атмосферы не всегда приводит к положительному результату из-за ликвации элементов при высоких температурах.

Способы электрической контактной сварки в защитной атмосфере в какой-то мере снижают опасность влияния перегрева материала и атмосферы. Использование серийных машин точечной, рельефной, шовной и

стыковой сварки позволяет переносить полученные результаты в практику без существенных доработок.

Технология изготовления сварных фиксаторов из материалов с термомеханической памятью включает в себя следующие основные операции:

1. Контроль качества материала. Материал обычно поступает в виде ленты, прутков и проволоки. Им присущи все виды дефектов материалов, полученных методами обработки давлением. Достоверный анализ может быть произведен при удалении поверхностного слоя. Необходима проверка «на память».

2. Изготовление заготовок конструкций. Заключается в вырезке из указанных выше полуфабрикатов развертки конструкции или отдельных ее частей при помощи абразивной или электроэрозионной резки.

3. Сварка конструкции. Обязательное предварительное травление в водном растворе  $\text{HF} + \text{HNO}_3$ . Подготовка конструкции под сварку. Выбор способа сварки (ударно-конденсаторная (УКС), рельефная, сопротивлением, электронным лучом, лазерная) определяется особенностью конструкции фиксатора и требованиями к его характеристикам. Небольшая величина зоны термического влияния при УКС позволяет практически сохранить эффект памяти даже в непосредственной близости от сварного стыка; сварка сопротивлением - наиболее простой способ соединения плоских элементов; создание определенной атмосферы при лазерной сварке позволяет предотвратить изменение химсостава сварного шва и изменения свойств.

4. Задание памяти, т.е. той формы, которая будет необходима при осуществлении остеосинтеза. Эта операция производится в высокотемпературной области, приданием заготовке требуемой формы вручную или в специальных приспособлениях. Необходимо обращать внимание на возможность газонасыщения сплавов и потерю при этом их свойств.

5. Термическая обработка. Необходимость ее обуславливается получением незапланированных свойств сплава (сдвиг границ температурного интервала превращений, частичная или полная потеря памяти).

6. Заключительная обработка конструкции. Изделие подвергается пескоструйной обработке, травлению и, если это необходимо, электролитическому полированию.

7. Заключительный контроль. Приемочные испытания.

Ударно-конденсаторная сварка (УКС) - это стыковая сварка металлических деталей под действием ударной механической нагрузки, приложенной во время или после дугового разряда энергии, предварительно накопленной в конденсаторах, оплавляющего стыковые поверхности.

Технологические достоинства УКС - точность дозирования энергии в конденсаторах и кратковременность их разряда, которая даёт возможность локализовать зону нагрева в небольшом объеме, необходимом для



обеспечения достаточной прочности соединения. Также преимуществом УКС является практическая независимость качества сварного соединения от состояния свариваемых поверхностей.

Процесс УКС в общем случае можно разделить на три стадии:

1. Возбуждение дуги.
2. Горение дуги, во время которого происходит нагрев стыкуемых поверхностей и их очистка от оксидных пленок и адсорбированных газов.
3. Осадка свариваемых деталей, при которой в зависимости от удельного усилия расплавленный металл полностью или частично удаляется из зоны стыка.

Разновидности УКС определяются различиями на первой стадии, которая определяет большинство параметров дальнейшего хода процесса.

В настоящее время наибольшее применение нашел процесс УКС однополярным импульсом. Однополярный импульс обеспечивает стабильность направления плазменного потока дуги на расплавленный металл, а так же непрерывность горения дуги благодаря отсутствия перехода напряжения через ноль.

При разработке технологии сварки, выборе режима и проектирования оборудования для УКС переменными параметрами этого процесса являются:

- емкость батареи конденсаторов  $C$ ,
- напряжение их зарядки  $U_C$ ,
- активное сопротивление в разрядной цепи ,
- полярность сварки,
- скорость соударения деталей,
- масса подвижного зажима,
- длина вылета проволоки из зажима,
- длина свободного хода зажима до соударения,
- сила удара маятника,
- форма стыкуемых поверхностей.

Первые четыре параметра можно отнести к электрическим, остальные к механическим параметрам процесса. Изменением этих параметров осуществляется регулированием основных величин, определяющих качество сварного соединения - давления и температуры, под действием которых создается физический контакт и происходит активация поверхностей соединяемых деталей. В свою очередь температура на поверхности свариваемых деталей и давление при их осадке определяются силой сварочного тока, напряжением на дуге, длительностью разряда и усилием соударения.

По результатам опубликованных исследований в области УКС можно сделать вывод о существовании оптимального значения накопленной энергии, которое обеспечивает высокую прочность соединения свариваемых металлов независимо от величин ёмкости и напряжения, взятых в отдельности, при постоянных остальных параметров сварки.

Сварочная установка состоит из механической и электрической частей. Механическая часть включает в себя зажимные устройства, ударный механизм, спусковой механизм. Электрическая часть состоит из регулятора напряжения, выпрямительного устройства, зарядного сопротивления, коммутирующего устройства, батареи конденсаторов, разрядного сопротивления.

Проектируемая сварочная установка должна допускать регулирование как можно большего количества параметров режима. Это даст возможность более полного исследования процессов сварки сплава никелида титана.

В настоящее время эксперименты на спроектированной и собранной установке позволили приблизиться к оптимальным режимам сварки.

УДК 621.81

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПЛАВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И КОНТАКНУЮ ПРОЧНОСТЬ**

**Ермолаев И.В., Якушевич А.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Малущин Н.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В связи с длительностью испытаний наплавленных деталей металлургического оборудования типа прокатных валков, роликов рольгангов и различных валов в производственных условиях и большими затратами на изготовление опытных экспериментальных партий возникает вопрос об ускоренных испытаниях таких деталей на лабораторных установках, позволяющих оценить долговечность деталей.

Машины для испытания на износ и контактную прочность подразделяется на роликовые и шариковые (ролик по ролику или шар о шару), а также на машины, в которых плоская поверхность подвергается контактному нагружению при обкатке шарами. Так как, перечисленные выше детали имеют цилиндрическую форму, то наиболее целесообразно использование роликовых испытательных машин, которые отличаются довольно простой конструкцией, сравнительно небольшими габаритами, высокой производительностью и подобной деталям формой исследуемых образцов. Наиболее широкое применение нашли роликовые машины типов МИ-ИМ, СМЦ-2, МИД, МКВК, МКУ, а также машины 2168 УМТ ИИ 5018 для испытания материалов на трение и износ металлов и машина для испытания на усталость МУИ-6000.

Известные роликовые машины обладают рядом недостатков, основными из которых являются: они не позволяют осуществлять испытания цилиндрических образцов диаметром более 60 мм; в

недостаточной степени имитируют условия контакта испытываемых поверхностей и работы прокатных валков.

На кафедре металловедения и термической обработки металлов Сибирского государственного индустриального университета была разработана лабораторная установка для испытания цилиндрических образцов на износостойкость, контактную прочность в условиях, приближающихся к процессу эксплуатации валков станов холодной прокатки как в термически обработанном состоянии, так и с наплавкой поверхностных слоев.

Сконструированная испытательная машина предназначена для исследования роликовых образцов диаметром 90-110 мм на сопротивление истиранию и контактному разрушению. Роликовая испытательная машина может применяться для определения контактной прочности, трения и износа цилиндрических деталей, работающих в машиностроительных и металлургических отраслях, например, валков и роликов прокатных станов после их термической обработки или наплавки поверхностного слоя. Устройство установки дает возможность осуществить ускоренное испытание деталей на контактную прочность, износостойкость и определить влияние отдельных параметров на стойкость деталей, что существенно сокращает или полностью устраняет затраты на изготовление опытных партий деталей для длительных производственных испытаний.

Исследования работоспособности установки для испытаний на износ и контактную усталость наплавленных образцов и закаленных образцов из стали 9ХС проходили в лабораториях кафедры металловедения и термической обработки и кафедры металлургии и технологии сварочного производства (МиТСП) Сибирского государственного индустриального университета.

В настоящем исследовании эффективность работоспособности образцов оценивали по величине износа, которую определяли по потере веса ( $\Delta Q$ ) и изменению геометрических размеров образцов (диаметра) в процессе работы ( $\Delta d$ ).

Образцы для исследований изготавливались вырезкой из прокатных валков перпендикулярно их продольной оси. Образцы из прокатных валков с наплавленным на рабочую поверхность слоем изготавливались идентично образцам из стали 9ХС. Образцы из стали 9ХС после закалки с низким отпусканием имели твердость 60-62 HRC. Твердость наплавленного рабочего слоя варьировалась от 58 до 65 HRC. Скорость вращения испытываемых образцов составляла 1000 об./мин., т.е. соответствовала скорости прокатки в реальных производственных условиях. Нагрузка в зоне контакта составляла 1000 МПа. В процессе испытаний по данным замеров образцы разогревались до температуры 80-90°C. Результаты испытаний образцов из стали 9ХС и образцов с наплавленными по разным режимам слоями показали следующее.

При внешнем осмотре испытанных образцов поверхность катания характеризуется полосчатостью (чередованием темных и светлых полос) по

всей поверхности катания. Их длина определяется длиной окружности, а ширина взаимодействием с обкатывающим роликом. При этом темные полосы отполированы и при рассмотрении в лупу имеют поверхность, без каких – либо особенностей. Светлые полосы характеризуются матовой поверхностью и имеют волокнистую поверхность с видимыми следами деформации.

Поверхностные дефекты на обкатанных образцах представляют собой участки в виде ямочек, либо выколы с трещинами. На поверхностях катания также обнаруживаются следы вдавленных и раскатанных кусочков металла. Если рассматривать зависимость потери в весе ( $\Delta Q$ ) от времени испытаний, то можно отметить, что образцы с наплавленным слоем, имеющим разную твердость и толщину наплавленного слоя изнашиваются по разному. При твердости HRC 64-65 и глубине наплавленного слоя порядка 9-10 мм их стойкость примерно в 1,5-2,0 раза выше стойкости закаленных дисков, в то же время при меньшей твердости порядка HRC 58-59 уступает закаленным. При этом следует отметить малую глубину наплавленного слоя (3-4мм) и наличие единичных пор, расположенные как в наплавленном слое, так и на границе сплавления с основным металлом, а в кратерах выкрашившихся участков при рассмотрении под лупой наблюдаются сколы, характерные для усталостного развития дефекта.

Таким образом, на основании проведенных лабораторных исследований на установке для ускоренных испытания деталей тел вращения на износостойкость и контактную прочность для упрочнения прокатных валков можно рекомендовать наплавленный металл с твердостью HRC 64-65 с глубиной наплавленного слоя порядка 9-10мм при отсутствии в нем каких либо дефектов.

На кафедре МиТСП разработана технология изготовления рабочих валков холодной прокатки с применением плазменной наплавки теплостойкими сталями высокой твердости. Наплавленные валки применялись для проката тончайшей ленты из труднодеформируемых марок сталей и сплавов. Скорость прокатки 0,6м/с. Толщина прокатываемой ленты от 0,2 мм до 50мкм. Обжатие от 6 до 16%. Испытания показали, что качество прокатанной ленты и допустимые отклонения по толщине ленты соответствуют требованиям соответствующих ГОСТов и заводских нормалей, а наплавленные валки полностью пригодны для холодной прокатки сталей и сплавов.

При этом стойкость всей партии наплавленных валков оказалась в 1.5-2.0 раза выше по сравнению с серийными валками. Повышение износостойкости наплавленных валков можно объяснить наличием в структуре мелкодисперсных карбидов  $M_6C$  и  $MC$  и сжимающих напряжений в поверхностном слое.

**Выводы.** Ускоренные испытания деталей машин и механизмов металлургического оборудования типа тел вращения на износостойкость и контактную прочность, показавшие перспективность наплавленного

металла, нашли свое подтверждение при испытаниях опытно-промышленной партии прокатных валков в заводских реальных условиях.

УДК 621.791.4

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ООО «КМ»**

**Полянцев А.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Малущин Н.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

За последние годы при непрерывном усложнении конструкций и повышении уровня требований к их качеству на ООО «Кузнецкие Металлоконструкции» взят курс на снижение трудоемкости технологического процесса, за счет сокращения количества операций на заготовительном этапе производства и повышения уровня механизации и автоматизации, путем внедрения нового высокотехнологичного оборудования. Для достижения поставленных целей руководством предприятия были приняты следующие меры:

1) Координально изменена технология изготовления полуфабрикатов и заготовок, при этом практически не используются операции механической обработки, такие как, механическая резка на гильотинных ножницах и строжка кромок под сварку. Данные операции теперь выполняются методами газовой и плазменной резки на машинах с числовым программным управлением (ЧПУ) и механизированных машинах газовой резки.

2) Заказ металлопроката производится строго под раскрой, что позволяет уйти от сборки- сварки дополнительных стыков, исключает операцию правки и позволяет снизить коэффициент отходов.

3) Все основные технологические операции, такие как резка, сварка и сверловка, требующие высокой точности и качества выполняются на машинах с ЧПУ.

За последние десятилетие произошло значительное обновление оборудования. Основной уклон был сделан на машины термической резки с числовым программным управлением, позволяющие осуществлять не только разделительную резку металлопроката, но и плазменную разметку, что существенно упрощает процесс дальнейшей сборки металлоконструкций.

В 2003 году была приобретена машина термической резки Esab Supragex SXE-P, оборудованная семью газовыми резаками и одним плазменным резаком РТ-600 с источником тока ESP-200 силой тока 200А, позволяющим резать металл толщиной до 20 мм. Все резаки имеют функции

автоматического слежения высоты и автоподжига. Технические характеристики машины Esab Suprarex SXE-P приведены в таблице 1.

В 2004 году произведена модификация машины термической резки «Комета». В частности, был дополнительно установлен плазменный резак T100M американской фирмы Hypertherm с источником тока Powermax 1650 силой тока 100А, позволяющий резать металл толщиной до 14мм. Также была установлена новая система управления CNC 4000, которая позволила подключить машину к заводской компьютерной сети и принимать управляющие программы непосредственно от программиста. Это значительно сократило время подготовительных операций перед началом процесса резки. Технические данные машины «Комета М» приведены в таблице 2.

Таблица 1 –Технические характеристики машины Esab Suprarex SXE-P

| Параметры  | Значения |
|--|----------|
| Ширина обрабатываемого листа, мм   | 3000     |
| Длина обрабатываемого листа, мм  | 12000    |
| Размер колеи направляющих рельсового пути, мм  | 4300     |
| Наибольшая толщина разрезаемого листа при газокислородной резке одним резаком с кромки листа, мм | до 300   |
| Возможная толщина пробивки, мм   | до 160   |
| Количество суппортов   | 8        |
| Система управления   | CNC 3000 |
| Скорость отработки контура, мм/мин   | 0– 2000  |
| Длина машины, мм   | 14000    |
| Ширина машины, мм  | 4650     |
| Высота машины, мм  | 2000     |

В 2008 году введены в эксплуатацию две машины термической резки Satronik D-4000 и Satronik D-5000, их технические характеристики приведены в таблицах 3 и 4. Первая предназначена исключительно для плазменной резки листового проката, вторая для роспуска. Satronik D-4000 оснащен двумя газовыми резаками и одним плазменным резаком PerCut 370.1 с источником тока Kiellberg HiFocus 280i силой тока до 260А, позволяющий получать качественный срез на металле до 32мм и наносить плазменную разметку. Satronik D-5000 оборудован восьмью газовыми резаками немецкой фирмы Messer, с функциями определения высоты и автоподжига. Машина используется преимущественно для роспуска листового металлопроката.

Таблица 2 – Технические данные машины «Комета М»

| Параметры  | Значения                   |
|--|----------------------------|
| Ширина обрабатываемого листа, мм   | 3200                       |
| Длина обрабатываемого листа, мм  | 12000                      |
| Размер колеи направляющих рельсового пути, мм  | 3300                       |
| Наибольшая толщина разрезаемого листа при газокислородной резке одним резаком с кромки листа, мм   | до 300                     |
| Наибольшая толщина разрезаемого листа при газокислородной резке двумя резаками, с кромки листа, мм | до 100                     |
| При резке более четырех резаков, с кромки листа, мм  | до 80                      |
| Наименьшая толщина разрезаемого листа при газокислородной резке, мм                                | от 5                       |
| Рекомендуемая толщина пробивки, мм   | 40 – 60                    |
| Возможная толщина пробивки, мм   | до 160                     |
| Количество суппортов   | 4                          |
| Система управления   | CNC 4000, три координаты   |
| Скорость отработки контура, мм/мин   | 50 – 8000                  |
| Точность позиционирования, мм  | +0,35 1 класс по ГОСТ 5614 |

В 2011 году приобретены две линии для обработки металлопроката Excalibur 12 и Tiro A-31 итальянской фирмы FICER. Автоматическая линия сверления профиля модели Excalibur 12 с системой ЧПУ, контролирует 4 оси одновременно. Она оснащена устройством смены инструмента на 6 позиций, устройством определения положения, устройством для автоматической коррекции точки отчета, оборудованием для обработки пластин.

Таблица 3 – Технические характеристики машины Satronik D-4000

| Параметры  | Значения |
|--|----------|
| Ширина обрабатываемого листа, мм                               | 3000     |
| Длина обрабатываемого листа, мм                                | 34000    |
| Размер колеи направляющих рельсового пути, мм                  | 4000     |
| Наибольшая толщина разрезаемого листа при плазменной резке, мм | до 32    |
| Количество суппортов   | 3        |
| Система управления   | CNC 3000 |
| Скорость отработки контура, мм/мин                             | 0– 2500  |

Таблица 4 –Технические характеристики машины Satronik D-5000

| Параметры  | Значения |
|--|----------|
| Ширина обрабатываемого листа, мм   | 4000     |
| Длина обрабатываемого листа, мм  | 21000    |
| Размер колеи направляющих рельсового пути, мм  | 5000     |
| Наибольшая толщина разрезаемого листа при газокислородной резке одним резаком с кромки листа, мм | до 300   |
| Возможная толщина пробивки, мм   | до 160   |
| Количество суппортов   | 8        |
| Система управления   | CNC 4000 |
| Скорость отработки контура, мм/мин   | 0– 2500  |
| Длина машины, мм   | 22000    |
| Ширина машины, мм  | 5700     |
| Высота машины, мм  | 2000     |

Технические характеристики машин FICER Excalibur 12 и FICER Tipo A-31 представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 –Технические характеристики машины FICER Excalibur 12

| Параметры  | Значения  |
|--|-----------|
| Максимальное сечение профиля, мм                                       | 1200x1200 |
| Минимальное сечение профиля, мм  | 50x50     |
| Максимальная длина обрабатываемой заготовки, мм                        | 21000     |
| Тип обрабатываемого профиля  | любой     |
| Максимальный диаметр сверления, мм                                     | 40        |
| Максимальная скорость продольного перемещения подвижной станины, м/мин | 35        |
| Скорость позиционирования шпинделя, м/мин                              | 12        |
| Мощность двигателя, кВт  | 19        |
| Система управления (ЧПУ)   | Minosse   |

Ficer Tipo A-31 представляет собой установку с ЧПУ для сверления и термической резки крупногабаритных листов. Главной отличительной особенностью машины является неподвижный, относительно продольной оси, портал. Перемещение обрабатываемого листа осуществляется за счет гидравлических толкателей. Преимущество такой системы в том, что расплавленный металл и стружка от сверловки скапливается в специальном контейнере и стеллаж не нуждается в регулярной чистке. Машина оборудована одним плазменным резаком, одним газовым, сверлильной головкой, системой смены инструмента на 6 позиций, маркировочным



узлом, стружкоуборочным конвейером, устройством для нанесения резьбы. Плазменный резак Hypertherm HPR 260, с источником HP1250 силой тока до 260А позволяет получить качественный рез на металле толщиной до 32мм.

Таблица 6 –Технические характеристики машины FICER Tipo A-31

| Параметры  | Значения   |
|--|------------|
| Длина обрабатываемого листа, мм                      | 2500-12000 |
| Ширина обрабатываемого листа, мм                     | 400-3100   |
| Максимальный диаметр сверления, мм                   | 40         |
| Максимальная толщина сверления, мм                   | 130        |
| Толщина обрабатываемого листа, мм                    | 10-130     |
| Максимальный позиционируемый вес, кг                 | 7500       |
| Максимальная скорость продольного перемещения, м/мин | 30         |
| Скорость поперечного позиционирования, м/мин         | 30         |
| Рабочая высота, мм                                   | 850        |
| Скорость вращения шпинделя, об/мин                   | 180-3000   |
| Система управления (ЧПУ)                             | Minosse    |

На сегодняшний день на предприятии широко внедряется конструирование металлоконструкций в объемном формате, с помощью приобретенной программы ТЕКЛА, которая позволяет значительно сократить время прохождения документации КМД (конструкции металлические деталеровочные). Теперь чертежи могут без дополнительной прорисовки обрабатываться программой создания раскроев для машин термической резки.

Благодаря ориентации на техническое переоснащение производства современным оборудованием, на ООО «Кузнецкие Металлоконструкции» были выполнены все значимые проекты, такие как:

- изготовление металлоконструкций мостовых кранов совместно с компанией «Kona Krains» (Финляндия);
- изготовление металлоконструкций мостовых кранов совместно с компанией «Demag»;
- полное изготовление металлоконструкций мостовых кранов совместно с компанией «Noil» (Германия) для Хакасского алюминиевого завода;
- металлоконструкции печи обжига концентрата для изготовления цемента совместно с немецкой компанией «Polisius».

## **НЕКОТОРЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕРМИЧЕСКОМУ ЦИКЛУ НАПЛАВКИ ТЕПЛОСТОЙКИМИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ СТАЛЯМИ**

**Колегова М.Н., Шуткова А.Д., Скарлушин В.С.  
Научный руководитель: к.т.н., доцент Вострецов Г.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Интенсификация технологических процессов в технике неразрывно связана с увеличивающимся объемом использования металлических материалов, требование к которым с точки зрения обеспечения надежности и долговечности, экономичности и технологичности неуклонно возрастает. Непрерывное совершенствование и развитие новых технологических процессов, стремление повысить эффективность оборудования, а также появление новых видов техники привели к необходимости изготовления рабочих частей деталей машин и инструмента с использованием высоколегированных инструментальных сталей высокой твердости. Одним из путей создания износостойких покрытий является плазменная наплавка, позволяющая значительно повысить эксплуатационные свойства деталей и инструмента, работающего в условиях высоких контактных нагрузках и при повышенном износе.

Вопросы технологической свариваемости быстрорежущих инструментальных сталей высокой твердости, несмотря на то, что на протяжении многих лет являются предметом серьезного внимания. Ряд специфических особенностей, характерных при наплавке быстрорежущих сталей, обуславливают существенные трудности при изготовлении, восстановлении и последующей эксплуатации биметаллического инструмента и деталей машин. Влияние термического цикла наплавки на диффузионное перераспределение легирующих элементов между различными фазами наплавленного металла определяет возможность упрочнения и склонность к образованию охрупченных и разупроченных участков рабочего слоя.

Сочетание «жесткого» термического цикла наплавки с предварительным и сопутствующим подогревом позволяет регулировать длительность пребывания металла в области критических температур, способствуя формированию требуемого фазового состава, структуры и свойств наплавленного теплостойкого металла.

Роль предварительного подогрева теплостойкого металла перед наплавкой заключается в подготовке металла к восприятию термоциклических нагрузок, возникающих при наплавке. Термический цикл предварительного подогрева теплостойкого металла перед наплавкой включает нагрев металла в область температур образования аустенита,

выдержку для гомогенизации твердого раствора и охлаждение его до температуры наплавки. Температуру нагрева и длительность выдержки при этом выбирают исходя из необходимости максимального растворения карбидообразующих элементов в аустените. При этом учитывают необходимость сохранения мелкозернистой структуры металла рабочего слоя и низколегированного металла основы. Проведение исследований формирования структуры и свойств наплавленного теплоустойчивого металла типа Р2М8 позволили определить температуру предварительного подогрева перед наплавкой, которая составляет 1150-1200°C. В процессе нагрева достигается максимально возможное насыщение твердого раствора вольфрамом, молибденом и хромом при сохранении достаточно мелкого зерна. Содержание элементов в аустените достигает: вольфрама 1,25-1,3%, молибдена 6,3-6,5% и хрома 3,4%. Насыщение аустенита достигается растворением вторичных карбидов в широком интервале температур – выше  $A_1$ . с повышением температуры нагрева увеличивается также скорость из растворения. Высокая легированность аустенита увеличивает его устойчивость при диффузионном превращении и снижает вероятность возникновения трещин при наплавке. На стадии охлаждения основной целью является сохранение высокой легированности твердого раствора, предотвращение охрупчивания металла из-за образования мартенсита и релаксации термических напряжений.

Пересыщенный аустенит склонен к интенсивному выделению легирующих элементов уже в области выше критических температур при охлаждении. Такие процессы являются диффузионными и определяются скоростью охлаждения металла и максимальной температурой нагрева. Снятие пересыщения аустенита легирующими элементами и углеродом приводит к образованию хрупких участков металла, в которых наблюдается повышенное содержание избыточных карбидов типа  $M_6C$  по границам зерен. Растворение основного карбида  $M_6C$  протекает при более высоком нагреве - 1050-1300° С. Это позволяет перевести в аустенит до 6-7% W, дополнительно 0,5-0,8% Cr и некоторое количество ванадия (1%), присутствующих в карбиде. Процессы распределения карбидной фазы приводят к повышению вероятности образования трещин при наплавке. Увеличение скорости охлаждения в интервале критических температур способствует подавлению диффузионных процессов выделения карбидообразующих элементов и углерода из твердого раствора. Высокая легированность такого твердого раствора повышает устойчивость металла против образования трещин при наплавке и способствует его упрочнению при отпуске на вторичную твердость.

Замедленное охлаждение металла при температурах наплавки (в области температур начала мартенситного превращения  $M_n$ ) приводит к стабилизации аустенита и позволяют релаксировать возникающие при наплавке напряжения. Снижения уровня термических и структурных напряжений происходит за счет кинетической пластичности металла при

полиморфном превращении ( $\gamma$ - $\alpha$ ). При некотором переохлаждении металла ниже  $M_n$  частично протекающее мартенситное превращение релаксирует напряжения, а образующееся количество мартенсита не охрупчивает металл. Например, для стали типа P2M8 оптимальная степень переохлаждения ниже  $M_n$  составляет 30-50° С. Переохлаждение металла до более низких температур приводит к образованию достаточно большого количества мартенсита и в значительной степени охрупчивает металл. Такое нарушение режима охлаждения приводит к возникновению трещин при последующей наплавке деталей и инструмента изготовленных из теплостойких инструментальных сталей высокой твердости.

Можно сформулировать основные требования к термическому циклу предварительного подогрева теплостойкого металла перед наплавкой.

- нагрев детали перед наплавкой для аустенизации металла и растворении легирующих карбидообразующих элементов и углерода в твердом растворе при условии сохранения мелкозернистой структуры;

- ускоренное охлаждение металла в области минимальной устойчивости переохлажденного аустенита для предотвращения обеднения аустенита и образования избыточной карбидной фазы;

- замедленное охлаждение в области мартенситного превращения и стабилизации аустенита при температурах наплавки.

Подготовленный таким образом быстрорежущий теплостойкий металл перед наплавкой имеет высоколегированный твердый раствор, способен без разрушения воспринимать термоциклические нагрузки при наплавке, склонен к последующему упрочнению при отпуске на вторичную твердость.

Термический цикл наплавки и условия охлаждения наплавленных деталей и инструмента обеспечивает ускоренное охлаждение металла при минимальной устойчивости переохлажденного аустенита. Замедленное охлаждение металла при мартенситном превращении снижает вероятность образования трещин и способствует получению наплавленного металла высокой твердости (до 58-60 HRC) способного к последующему упрочнению при отпуске на вторичную твердость (64 HRC).

Основные требования к термическому циклу предварительного подогрева и наплавки теплостойких инструментальных сталей легли в основу разработки способа восстановительной наплавки рабочих валков для прокатки трансформаторной стали.

## IV. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И УПРОЧНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 669.72

### МАГНИЙ И ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВОДОРОДИСТЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

**Котова М.О.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Афанасьев В.К.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Магний – широко распространенный в природе элемент, относится к числу «молодых» цветных металлов. Его промышленное производство началось только в годы Первой Мировой Войны.

Магний – светло-серебристый металл. В периодической системе элементов Д.И. Менделеева магний находится во II группе 3-го периода под номером 12. Он типичный представитель группы легких цветных металлов. Плотность магния при 20 °С составляет 1738 кг/м<sup>3</sup>. Магний – легколетучий металл. Заметной летучестью при нормальном давлении он обладает уже при температурах около 600 °С. Вакуум ускоряет возгонку магния. Во всех химических соединениях магний двухвалентен.

В ряду напряжений магний занимает место среди наиболее электроотрицательных элементов. Плотность магния при 20 °С – 1,74 г/см<sup>3</sup>, температура плавления металла  $t_{пл} = 650$  °С, температура кипения  $t_{кип} = 1105$  °С, теплопроводность при 20 °С – 156 Вт/(м·К). Магний высокой чистоты пластичен, хорошо прессуется, прокатывается и поддается обработке резанием. В природе магний встречается только в виде многочисленных природных химических соединений, образуя крупные месторождения магниевых руд; его соединения находятся в больших количествах в воде морей, океанов и соляных озер.

Сплавы на основе магния являются важным конструкционным материалом в авиационной и автомобильной промышленности благодаря их лёгкости и прочности. Магний в виде чистого металла, а также его химические соединения (бромид, перхлорат) применяются для производства очень мощных резервных электрических батарей и сухих элементов. Химические источники тока на основе магния отличаются очень высокими значениями удельных энергетических характеристик и высоким разрядным напряжением.

В настоящее время при получении магния используют следующие его минералы: магнезит, доломит, карналлит и бишофит.

Магний впервые был получен в металлическом состоянии в 1808 г. В 1830 г. Фарадей получил несколько граммов магния электролизом расплава его хлорида. В настоящее время металлический магний получают двумя

способами: электролитическим и термическим.

Электролитический способ включает в себя: получение хлоридов из руд, электролиз хлоридов и рафинирование. Это наиболее широко распространенный способ. Так получают многие металлы.

Названные способы получения металлического магния подразумевают интенсивное изменение содержания водорода в металле, что существенно сказывается на его свойствах. Водород снижает температуру плавления магния до температуры 641 °С, при которой протекает газозвтектическое превращение.

При взаимодействии магния с щелочными металлами (I группа, а – Li, Na, K, Rb, Cs) система характеризуется значительной областью несмешиваемости в жидком состоянии и отсутствием промежуточных фаз (рисунок 1).

Благодаря низкой плотности и высокой удельной прочности их используют в авиакосмической технике в качестве конструкционных материалов. Магний придает им легкость – магниевые сплавы на треть легче алюминия. Около пятой части выплавляемого магния используют в автомобилестроении.

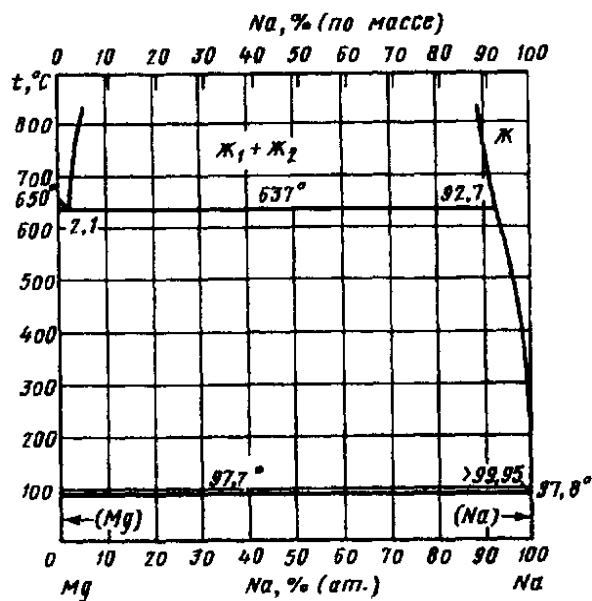


Рисунок 1 – Диаграмма состояния Mg – Na [2, 290]

Но при взаимодействии магния с литием (рисунок 2) система характеризуется наличием широких областей твердых растворов. Сплавы магния с литием, имеют повышенную удельную прочность в сочетании со значительной теплостойкостью. Благодаря этим свойствам данные сплавы являются незаменимыми в воздухоплавательной и космической промышленности для изготовления реактивных двигателей, ракетносителей и воздушно-космических самолетов.

При взаимодействии магния с металлами (элементы III гр., а – Ga, Tl, In) получившиеся соединения имеют узкие области гомогенности (Ga) (рисунок 3); существует значительная область Mg и образуются три

промежуточных фазы (Tl).

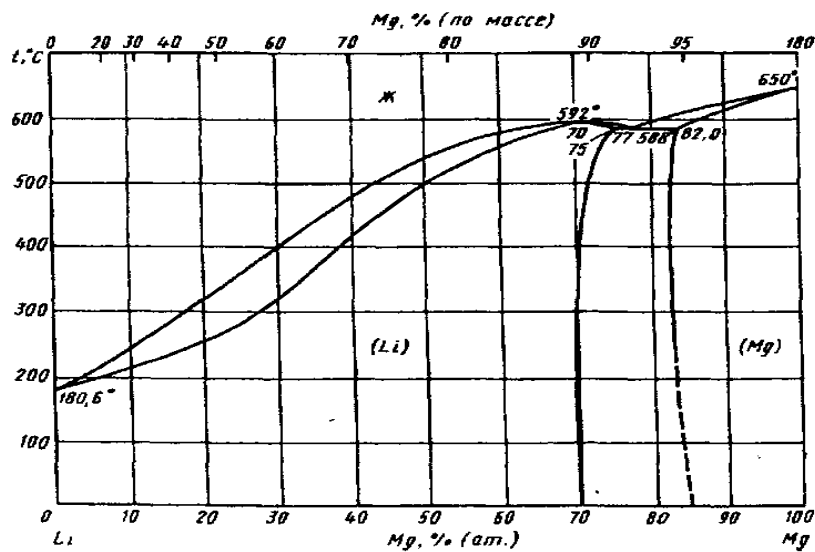


Рисунок 2 – Диаграмма состояния Mg – Li [2, 220]

Любопытно, что небольшие (до 5%) добавки "едкого" галлия к магнию повышают его антикоррозионные свойства, а заодно и прочность.

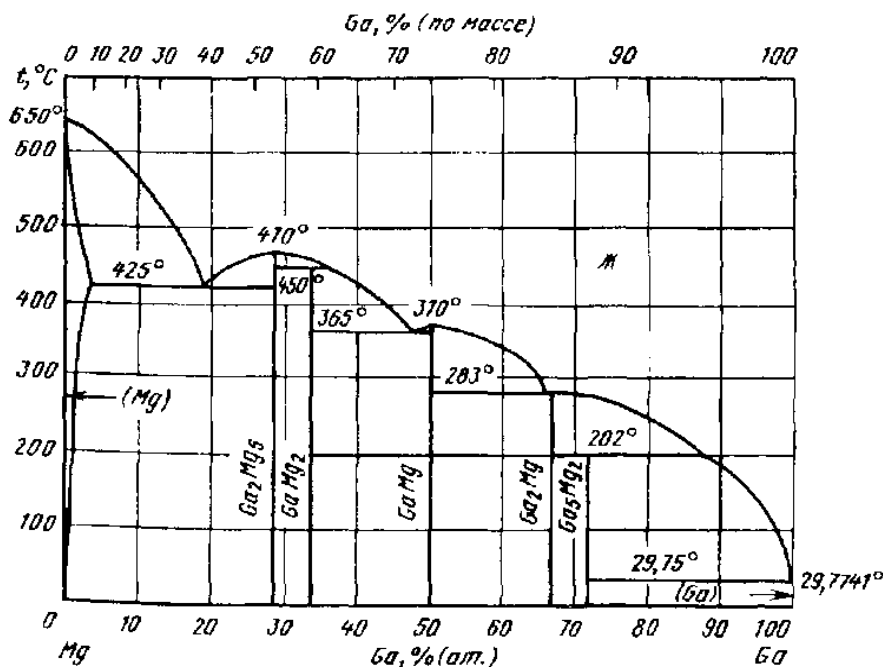


Рисунок 3 – Диаграмма состояния Mg – Ga [3, 613]

При взаимодействии с переходными металлами (элементы IV группы, б – Ti, Zr, Hf) никаких соединений между ними не обнаружено.

#### Библиографический список

1. Вол А.Е. Структура и свойства двойных металлических систем. М.:

Физматгиз, 1962. Т. 2. 984 с.

2. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: т.1 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996.

3. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: т.2 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996.

4. Лахтин Ю.М. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990.

5. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. М.: Metallurgy, 1970.

УДК 669.713

## АЛЮМИНИЙ И ВОДОРОДИСТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Базайкин Ф.Ю.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Афанасьев В.К.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Алюминий обладает многими ценными свойствами: небольшой плотностью – около  $2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , высокой теплопроводностью – около  $300 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  и высокой электропроводностью  $13,8 \cdot 10^7 \text{ Ом/м}$ , хорошей пластичностью и достаточной механической прочностью.

Алюминий образует сплавы со многими элементами. В расплавленном состоянии алюминий жидкотекуч и хорошо заполняет формы, в твердом виде он хорошо деформируется и легко поддается резанию, пайке и сварке.

На основании собственных экспериментальных данных и данных других работ Шаповаловым В.И. и Сердюком Н.П. построен высокотемпературный участок диаграммы состояния Al—H в области, богатой Al (рисунок 1).

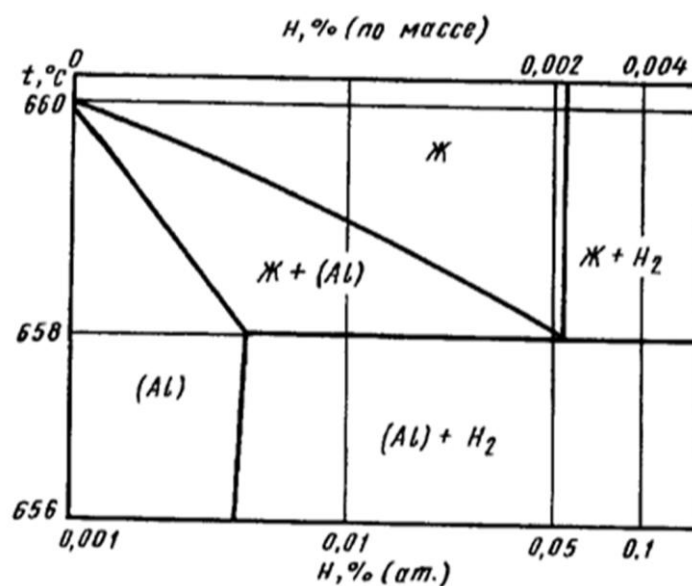


Рисунок 1 – Диаграмма состояния алюминий – водород



Водород очень незначительно понижает температуру плавления Al, а при кристаллизации в системе наблюдается газэвтектическое превращение  $Ж \rightarrow (Al) + H_2$ .

**Al—Si. Алюминий – кремний:** — сплав алюминия с кремнием. Химический состав — 4-22 % Si (рисунок 2), основа — Al, незначительное количество примесей Fe, Cu, Mn, Ca, Ti, Zn, и некоторых других. Сплав Al-Si (силумины) обладают наилучшими литейными свойствами. В двойных сплавах Al-Si эвтектика состоит из твердого раствора и кристаллов практически чистого кремния. В легированных силуминах (АК9ч) помимо двойной эвтектики имеются тройные и более сложные эвтектики. В двойных силуминах с увеличением содержания кремния доэвтектического состава снижается пластичность и повышается прочность.

Наиболее распространенные марки:

АК12 — 12 % кремния, эвтектический сплав

АК9 — 9 % кремния

АК7Ц9 — 7 % кремния, 9 % цинка

Силумины устойчивы к коррозии во влажной атмосф

износоустойчивостью, но крайне хрупки.

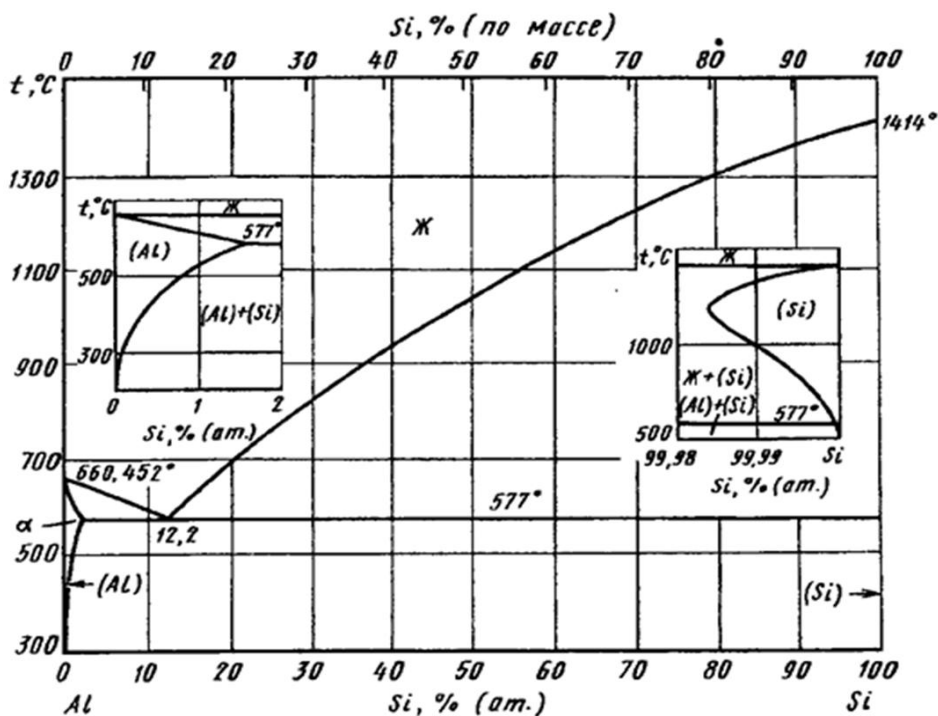


Рисунок 2 – Диаграмма состояния алюминий – кремний

Применяются для литья деталей в авто-, мото- и авиастроении (напр. картеров, блоков цилиндров, поршней), и для производства товаров народного потребления (напр. теплообменников, мясорубок).

## Al—Ni. Алюминий – никель:

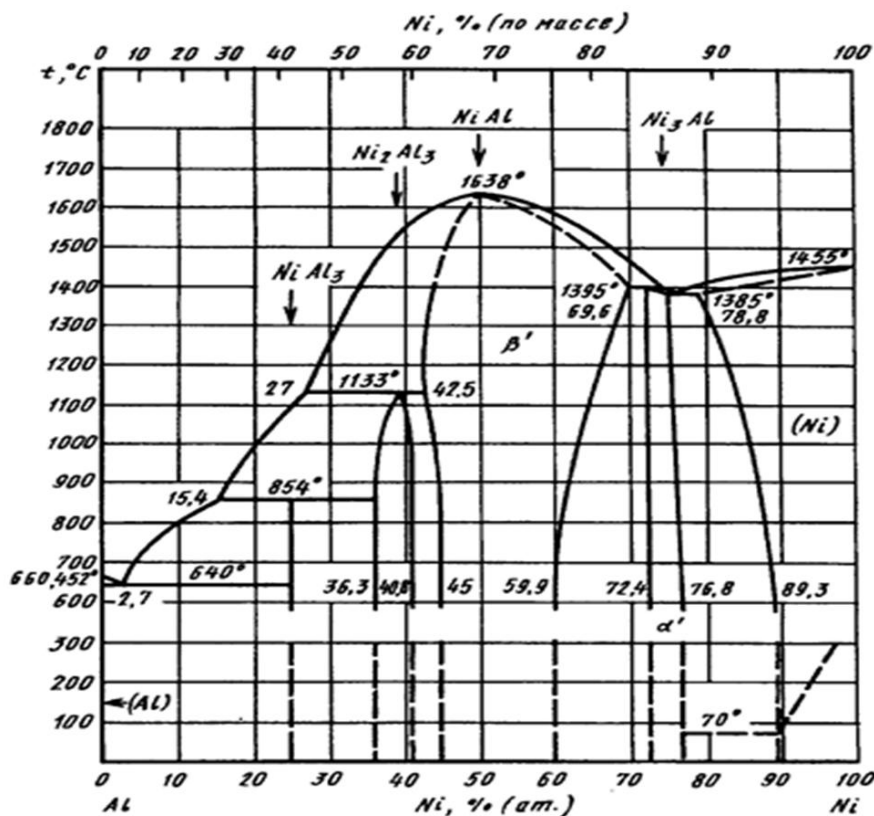


Рисунок 3 – Диаграмма состояния алюминий – никель

Никель Ренея, иначе «скелетный никель» — твёрдый микрокристаллический пористый никелевый катализатор, используемый во многих химико-технологических процессах; способ его приготовления предложил в 1926 году американский инженер Мюррей Реней. Представляет собой серый высокодисперсный порошок (размер частиц обычно 400—800 нм), содержащий, помимо никеля, некоторое количество алюминия (до 15 масс. %) и насыщенный водородом (до 33 ат. %). Частицы порошка имеют большое количество пор, вследствие чего удельная поверхность составляет около 100 м<sup>2</sup>/г. Никель Ренея пирофорен, то есть самовоспламеняется на воздухе при комнатной температуре, поэтому его хранят под слоем воды, спирта либо бензина.

Никель Ренея широко применяется как катализатор разнообразных процессов гидрирования или восстановления водородом органических соединений (например, гидрирования аренов, алкенов, растительных масел и т. п.). Ускоряет также и некоторые процессы окисления кислородом воздуха. Структурная и тепловая стабильность никеля Ренея позволяет использовать его в широком диапазоне условий проведения реакции; в лабораторной практике возможно его многократное использование. Никель Ренея каталитически значительно менее активен, чем металлы платиновой группы, но значительно дешевле последних.

Получают никель Ренея сплавлением при 1200 °С никеля с алюминием (20-50 % Ni; иногда в сплав добавляются незначительные количества цинка

или хрома), после чего размолотый сплав для удаления алюминия обрабатывают горячим раствором гидроксида натрия с концентрацией 10 — 35 %; остаток промывают водой в атмосфере водорода. Лежащий в основе приготовления никеля Ренея принцип используется и для получения каталитически активных форм других металлов — кобальта, меди, железа и т. д.

**Al - Mn. Алюминий – марганец:** алюминиево-марганцевые Al-Mn . Сплавы этой системы обладают хорошей прочностью, пластичностью и технологичностью, высокой коррозионной стойкостью и хорошей свариваемостью.

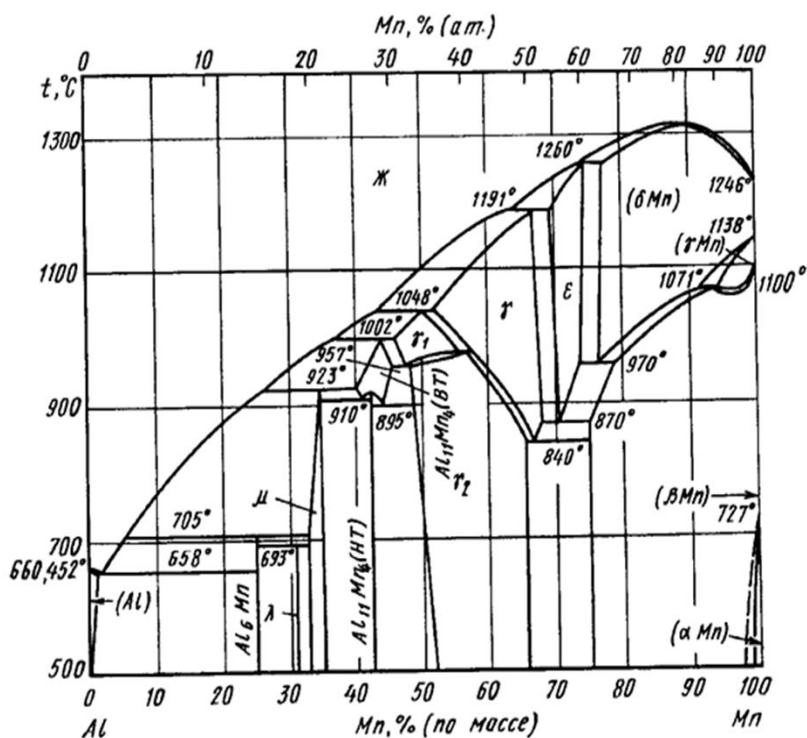


Рисунок 5 – Диаграмма состояния алюминий – марганец

Основными примесями в сплавах системы Al-Mn являются железо и кремний. Оба этих элемента уменьшают растворимость марганца в алюминии. Для получения мелкозернистой структуры сплавы этой системы легируют титаном. Присутствие достаточного количества марганца обеспечивает стабильность структуры нагартованного металла при комнатной и повышенной температурах.

#### Библиографический список

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник под общ. ред. Лякишева; Т.1, - М.: Машиностроение, 1996. – 996 с.
2. Шанк Ф.А. Структуры двойных сплавов / Ф.А. Шанк -М.: Металлургия, 1973. - 760 с.
3. Хансен М Структуры двойных сплавов Т.1/ Хансен М., Андерко К. -М.: Металлургиздат, 1962. - 608 с.

## МЕДЬ И ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВОДОРОДИСТЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Николаева М.И.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Афанасьев В.К.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

**1. Свойства.** Медь — элемент побочной подгруппы первой группы, четвёртого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 29. Обозначается символом Cu. Простое вещество медь — это пластичный переходный металл золотисто-розового цвета. Атомная масса 63 а.е.м., плотность  $8,96 \times 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>,  $T_{\text{плав}}$  1083 К,  $T_{\text{кип}}$  2567 К.

Медь очень хорошо проводит электричество и тепло. Удельное сопротивление меди равно 0,018 Ом • мм<sup>2</sup>/м, а теплопроводность при 20 °С составляет 385Вт/(м•К). По электропроводности медь лишь немного уступает серебру. Ее электропроводность в 1,7 раза выше, чем у алюминия, и примерно в 6 раз выше, чем у платины и железа. Медь обладает ценными механическими свойствами — ковкостью и тягучестью.

**2. Производство.** Для получения меди применяют медные руды (рисунок 1), а также отходы меди и ее сплавов. В рудах содержится 1—6 % меди. Известны два способа извлечения меди из руд и концентратов: гидрометаллургический и пирометаллургический.



Рисунок 1 – Схема производства меди

Первый из них не нашел широкого применения. Его используют при переработке бедных окисленных и самородных руд. Этот способ в отличие от пирометаллургического не позволяет извлекать попутно с медью драгоценные металлы. Большую часть меди (85—90 %) производят пирометаллургическим способом из сульфидных руд. Одновременно решается задача извлечения из руд помимо меди других ценных сопутствующих металлов. Пирометаллургический способ производства меди является многостадийным. Основные стадии производства: подготовка руд (обогащение и иногда дополнительно обжиг), плавка на штейн (выплавка медного штейна), конвертирование штейна с получением черновой меди, рафинирование черновой меди (сначала огневое, а затем электролитическое).

**3. Медь – водород.** Водород значительно растворим в твердой и жидкой меди. Водород незначительно влияет на свойства меди. Особенно отрицательное действие водород оказывает на медь, содержащую кислород. Такая медь после отжига в водороде или восстановительной атмосфере, содержащей водород, делается хрупкой и растрескивается - «водородная хрупкость». На рисунке 2 представлены изобары растворимости Cu – H (при давлении 1 атм), полученные в результате нескольких работ (данные обозначены разными символами).

**4. Медь – никель:** является одним из наиболее значимых взаимодействий меди с водородистыми элементами. Микроскопическими и рентгеновскими исследованиями было подтверждено существование непрерывного ряда твердых растворов (рисунок 3), что ведет к проявлению особых свойств.

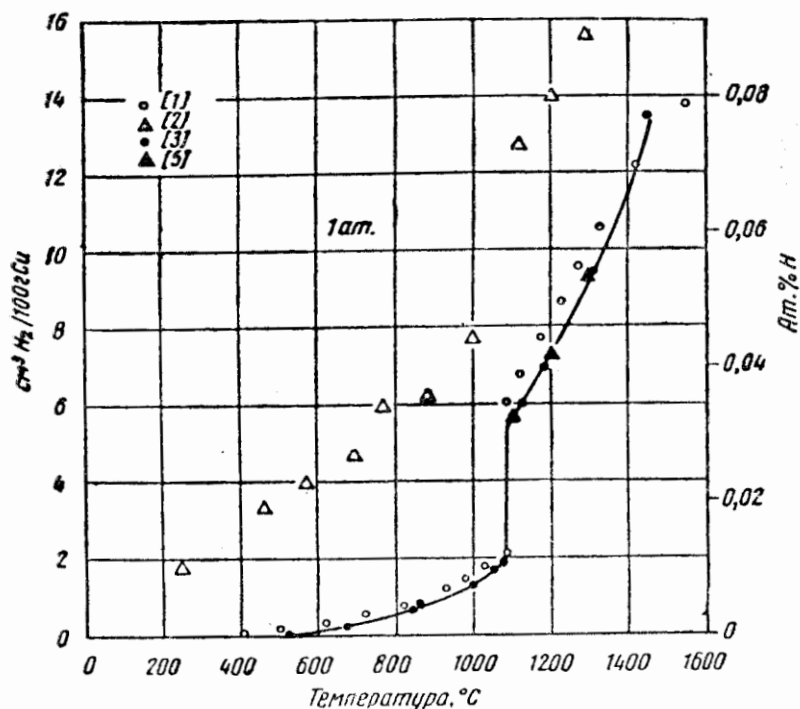


Рисунок 2 – Изобара растворимости Cu – H



Рисунок 3 – Диаграмма состояния Cu – Ni

Сплавы меди с никелем отличаются хорошими механическими свойствами, коррозионной стойкостью, технологичностью и особыми электрическими свойствами, что обуславливает широкое применение их в технике. Никель существенно упрочняет медь, при этом характеристики пластичности и ударной вязкости практически не меняются. Никель повышает характеристики: жаропрочности, модуль упругости; и понижает температурный коэффициент электросопротивления меди.

По назначению медноникелевые сплавы делятся на две группы: конструкционные и электротехнические. К первой группе относятся высокопрочные и коррозионностойкие сплавы типа мельхиор, нейзильбер и куниаль, ко второй — константан, манганин и копель, обладающие высоким электрическим сопротивлением и определенными термоэлектрическими свойствами.

#### Библиографический список

1. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем.: М.: Металлургия, 1962. – 425 с.
2. Лахтин Ю.М. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. – 376 с.
3. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. М.: Металлургия, 1970. – 358 с.

УДК 669.72

### МАГНИЙ И ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С АЗОТИСТЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

**Меньшиков А.А.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Афанасьев В.К.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

**Диаграмма Mg+Y.** Иттрий и магний характеризуются существенной взаимной растворимостью в твердом состоянии. Иттрий и другие металлы проявляют незначительную взаимную растворимость примерно 2,6%. Высокотемпературная модификация бета-иттрия – с О.Ц.К. решеткой может существовать при комнатной температуре.

Промежуточная фаза  $Mg_{17}Y_3$  имеет О.Ц.К. решетку с периодом 11,27(25), вторая промфаза  $Mg_5Y_2$  имеет предположительно ромбическую решетку. Предполагается что  $Mg_5Y_2$  гомогенен в интервале 83-87% Mg.

Третье соединение  $MgY$  имеет кубическую решетку,  $a = 3,80 \text{ \AA}$

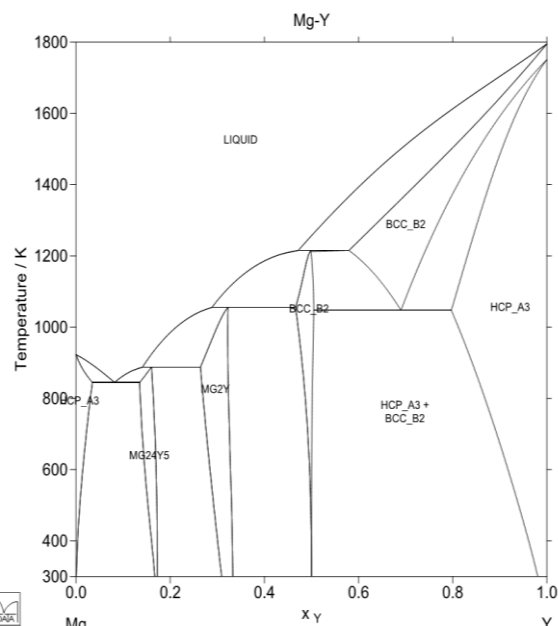


Рисунок – 1 Диаграмма состояния системы магний – иттрий

**Диаграмма состояния системы висмут-магний (Bi-Mg)** Металлы неограниченно растворимы в жидком состоянии. При кристаллизации в системе конгруэнтно образуется соединение  $Mg_3Bi_2$  при температуре  $821\text{ }^{\circ}C$  -  $823\text{ }^{\circ}C$ . Соединение  $Mg_3Bi_2$  претерпевает полиморфное превращение при температуре  $703\text{ }^{\circ}C$ . Область гомогенности  $Mg_3Bi_2 \sim 2\%$  (ат.). В системе наблюдаются два превращения эвтектического типа:  $Ж \leftrightarrow (Mg) + Mg_3Bi_2$  при температуре  $553\text{ }^{\circ}C$  и содержании  $14,3\%$  (ат.) Bi ( $58,9\%$  (по массе) Bi);  $Ж \leftrightarrow Mg_3Bi_2 + (Bi)$  при температуре  $260\text{ }^{\circ}C$  и содержании  $95,7\%$  (ат.) Bi ( $99,5\%$  (по массе) Bi), а также превращение кататектического типа при температуре  $688\text{ }^{\circ}C$ . Растворимость Mg в Bi незначительна, однако она предполагается равной  $8\%$  (ат.).

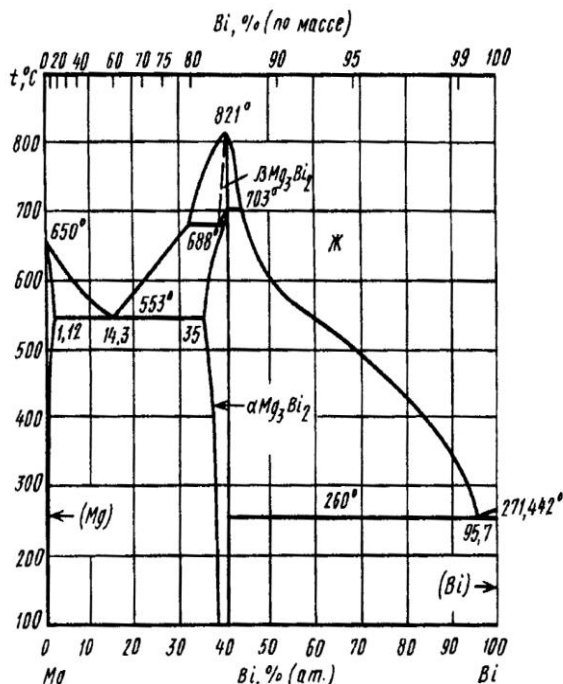


Рисунок 2 – Диаграмма состояния системы магний – висмут

**Диаграмма состояния системы Cd—Mg:** изучению диаграммы состояния системы Cd—Mg посвящено большое число исследований. Система характеризуется образованием непрерывного ряда твердых растворов. При температурах ниже линии солидус имеет место упорядочение с образованием трех фаз:  $\alpha'$  ( $\text{MgCd}_3$ ),  $\alpha''$  ( $\text{MgCd}$ ) и  $\alpha'''$  ( $\text{Mg}_3\text{Cd}$ ).

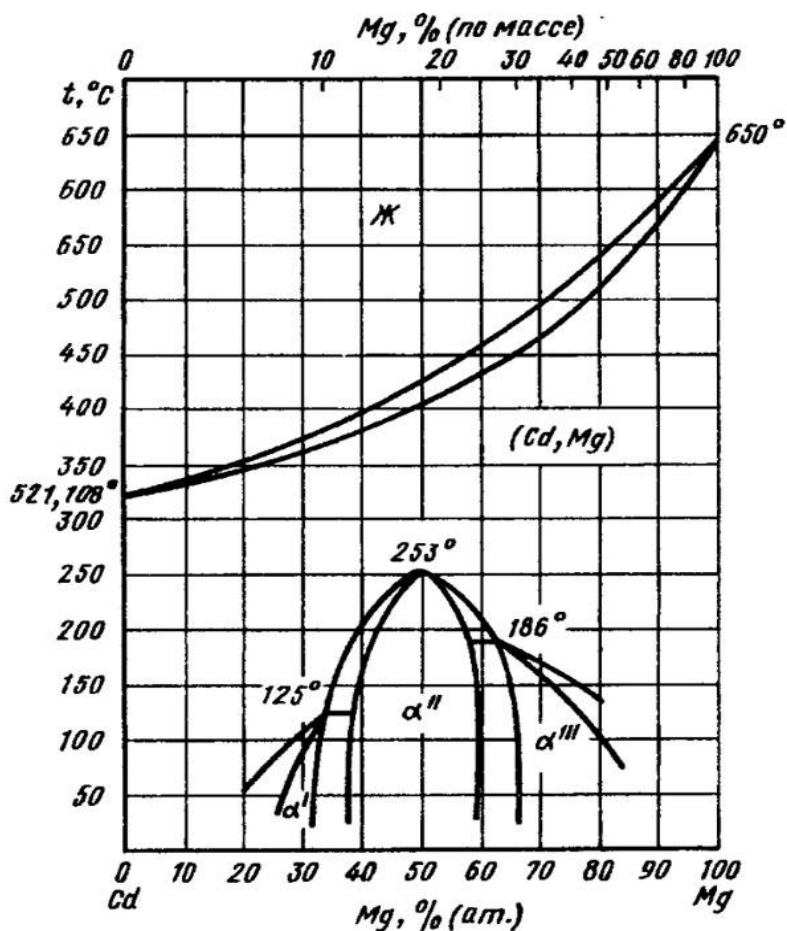


Рисунок 3 – Диаграмма состояния кадмий-магний

**Диаграмма состояния системы Co—Mg:** В системе образуется одно соединение  $\text{MgCo}_2$ , относящееся к фазам Лавеса. Образование соединения происходит при охлаждении расплава по перитектической реакции при температуре  $970^\circ\text{C}$ . Со стороны Co в системе предполагаются превращения, связанные с полиморфным превращением при температуре  $422^\circ\text{C}$  и переходом от состояния ферромагнетизма к парамагнитному состоянию при температуре  $1191^\circ\text{C}$

Со стороны Mg в системе имеет место эвтектическое превращение при температуре  $635^\circ\text{C}$  и содержании 1,9 % (ат.) 4,5 % (по массе) Co.

Результаты измерения параметров кристаллических решеток (Mg) и (Co) свидетельствовали об отсутствии существенной растворимости компонентов друг в друге в твердом состоянии. Кристаллическая решетка фазы  $\text{MgCo}_2$  типа  $\text{MgNi}_2$  с параметрами  $a = 0,486 \text{ нм}$ ,  $c = 0,792 \text{ нм}$ .



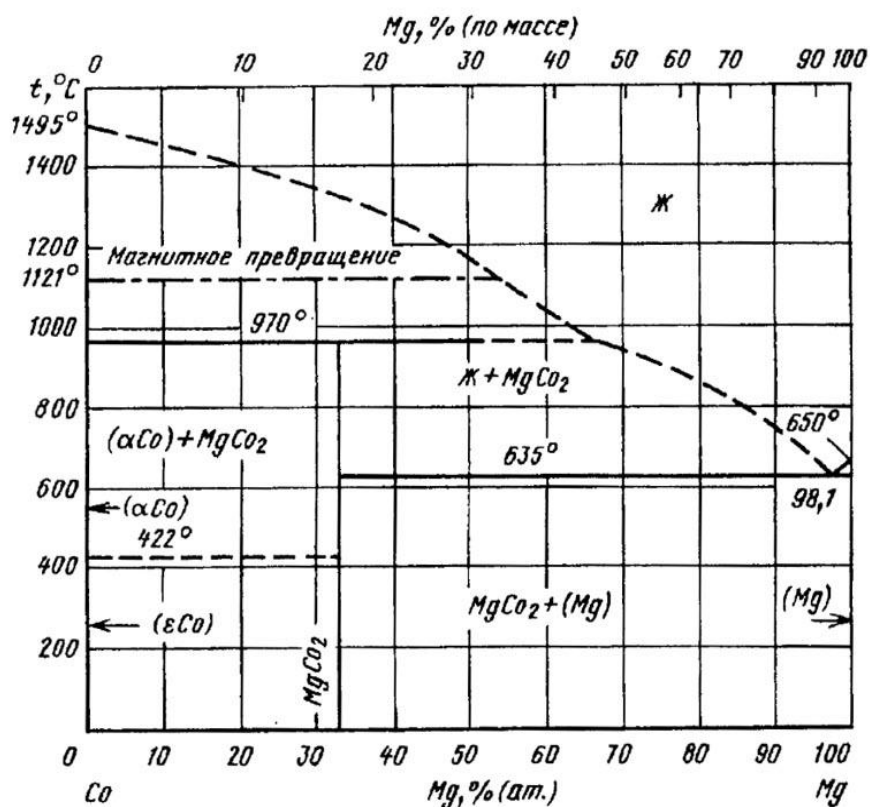


Рисунок 4 – Диаграмма состояния кобальт – магний

Из анализа диаграмм сплавов Mg с наиболее распространенными и дешевыми азотистыми элементами можно сделать вывод, о том, что Mg почти всегда образует эвтектику с азотистыми элементами, расположенную очень близко к самому Mg, это в свою очередь означает, что для получения жаропрочных сплавов эффективное количество вводимого Mg должно быть существенным. Второй вывод можно сделать о получаемой структуре Mg. Mg значительно уменьшает зерно почти для всех азотистых элементов. Ввиду возрастания дисперсности сплавов значительно возрастает и прочность этих сплавов. Третий вывод – стоимостной. Mg довольно дорогой элемент, чтобы применять его для легирования сталей в необходимых количествах, поэтому необходимо найти более дешевые аналоги Mg, которые бы еще более приближали бы эвтектику к Mg, либо искать новые способы получения дешевого Mg в том числе и из морской воды.

#### Библиографический список

1. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. М.: Металлургия, 1970. – 358 с.
2. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем. М.: Физматгиз, 1962. Т. 2. 984 с.

## ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА И ВОДОРОДИСТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗА

Рогалев М.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Афанасьев В.К.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Железо и его сплавы, важнейшие конструкционные материалы в технике и промышленном производстве. Из сплавов на основе железа, изготавливаются почти все конструкции в машиностроении и тяжелой промышленности. Легковые, грузовые автомобили, станки, железные дороги, корпуса и силовые установки судов – все это делается в основном из стали. Масштаб производства стали является одной из основных характеристик общего технико-экономического уровня развития государства. На долю стали приходится около 95% всей металлической продукции. Важная роль железа и его сплавов в технике и промышленности обусловлена удачным сочетанием их свойств.

Водород оказывает слабое влияние на предел прочности и предел текучести железа и стали. Более значительным и характерным является сильное уменьшение пластичности стали, по мере насыщения металла водородом склонность к хрупкому разрушению повышается. О причине водородной хрупкости стали нет еще ясного представления.

В 1816 У. Праут, английский врач и химик, высказал мысль, о том, что водород является первичной материей, из которой путём своего рода конденсации образовались атомы всех других элементов. Он исходил из опубликованной им в 1815 работы, в которой пришёл к заключению, что если атомная масса водорода принять равной 1, то атомная масса всех др. элементов должны выражаться целыми числами. [1]

Согласно представленной профессором В.К. Афанасьевым периодической системы химических элементов [2, С.49-52], в которой химические элементы рассматриваются как индивидуальное соотношение водорода, азота и кислорода, к водородистым элементам относятся Н, Li, С, F, Na, Si, Cl, K, Ti, Mn, Ni, Ga, Se, Zr, Pt, In, Te, Cs, Ta, Au, Pd. Рассмотрим основные диаграммы и сплавы железа с этими элементами.

**Fe-C. Железо-углерод:** Диаграмма состояния C-Fe в современной форме представляет результат развития нескольких десятилетий. В ее построение участвовали многочисленные исследователи, давшие сотни работ.

Первые попытки выяснить структуру железоуглеродистых сплавов совпадают с возникновением металлографии (Сорби, 1864). [3, С. 221]

Сейчас это диаграмма хорошо изучена (рисунок 2). На основе данных этой диаграммы производится огромное число промышленных сплавов на

основе железа: стали и чугуны.

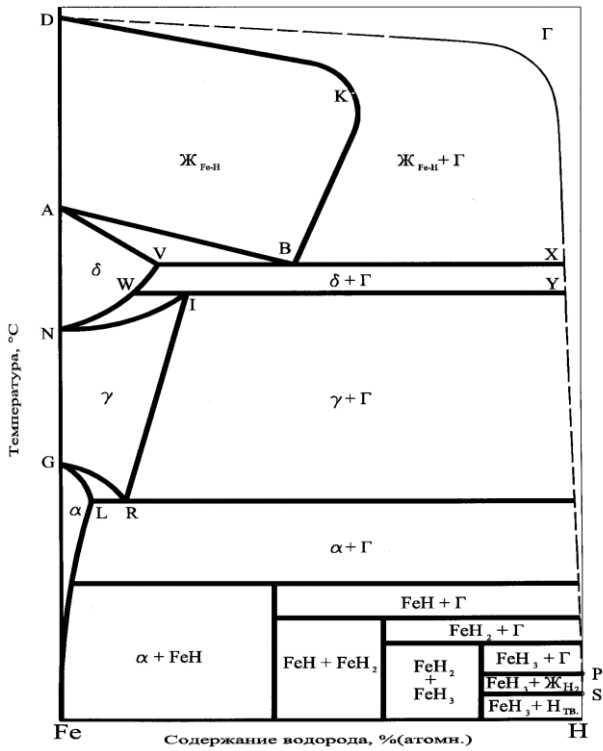


Рисунок 1 – Диаграмма состояния железо-водород.[1]

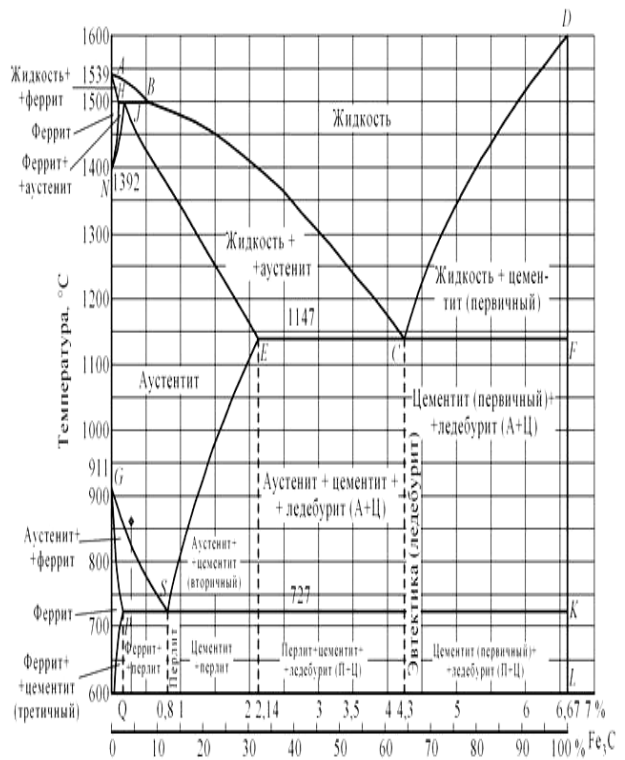


Рисунок 2 – Диаграмма состояния железо-углерод. [3]

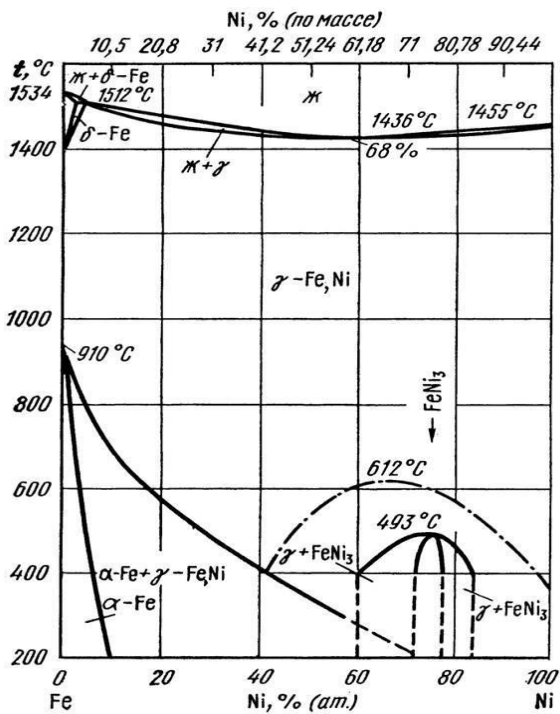


Рисунок 3 – Диаграмма состояния железо-никель.[3]

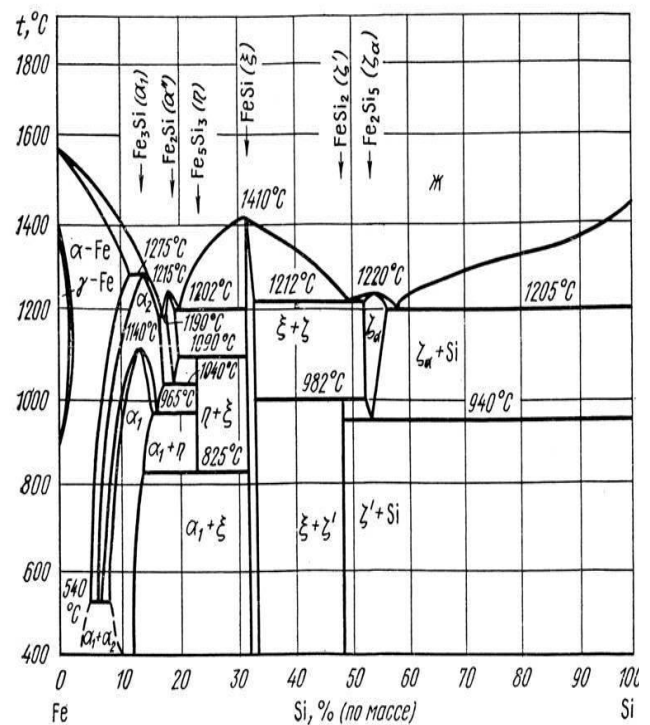


Рисунок 4 – Диаграмма состояния железо-кремний.[3]

**Fe-Ni. Железо-никель:** Способность никеля растворять в себе

значительное количество других металлов (рисунок 3) и сохранять при этом пластичность привела к созданию большого числа никеля сплавов. Полезные свойства никеля сплавов в определенной степени обусловлены свойствами самого никеля.

Никель является основой большинства суперсплавов — жаропрочных материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности для деталей силовых установок.

Инвар марки И-36, содержащая 35 -37 % Ni, при температуре от -50 до +100 °С имеет коэффициент линейного расширения, близкий к нулю. При температуре выше 100 °С этот коэффициент быстро растет и при температуре, большей 275 °С, превосходит коэффициент линейного расширения обыкновенных сталей. Из инвара изготавливают детали точных измерительных приборов и аппаратов.

Применяется в медицине, в радиационной технологии и производстве аккумуляторов, для деталей приборов, требующих постоянства размеров в широком интервале климатических температур.

**Fe-Si. Железо –кремний:** Сплавы железа с содержанием 0,5-3,0 % кремния (рисунок 4) называют электротехнической сталью, ее используют при изготовлении шихтованных магнитопроводов электротехнического оборудования — электромагнитов, трансформаторов, генераторов, электродвигателей и так далее. Листовая электротехническая сталь является важнейшим магнитомягким материалом, имеющим широкое применение в электрической промышленности.

Таким образом, деление всех химических элементов на водородистые, азотистые и кислородистые это новый взгляд на проблемы металлургии. Такое разделение является чрезвычайно важным для разработки материалов и технологий. Поскольку действие водорода, азота и кислорода определяется их родством и противоположностью, то очевидно, что для придания необходимых свойств водородистому элементу нужно легировать его азотистым и кислородистым элементами. Другими словами, для придания свойств любому одному из трех элементов H, N, O, необходимо добавить к нему два оставшихся. Это позволяет получить необходимые и контролируемые физические, механические и химические свойства металлов и сплавов, что в конечном итоге позволит повысить их технологические и служебные свойства. [2, С.51]

#### Библиографический список

1. Галактионова Н.А. Водород в металлах. М.: Металлургия, 1967. - 250 с.
2. Афанасьев В.К. Периодическая система химических элементов Афанасьева. Новый взгляд/ В.К. Афанасьев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2010, №6 – с. 49-52.
3. Хансен М.А. Структура бинарных сплавов. - М.: Металлургиздат, 1941. - 640с.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕДИ С АЗОТИСТЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Рудник А.А.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Афанасьев В.К.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В зависимости от характера взаимодействия с медью все примеси можно условно разделить на три группы:

1) К первой группе относятся элементы, растворимые в твердой меди (Al, Fe, Ni, Sn, Zn, Au, Ag, Al, Pt, Cd, Sb).

2) Вторую группу составляют элементы, практически нерастворимые в меди и образующие с ней легкоплавкие эвтектики (Pb, Bi, и др.)

3) К третьей группе относятся элементы, образующие с медью хрупкие химические соединения (S, O<sub>2</sub>, P и др.)

**1. Медь - Азот.** Диаграммы состояния металлов подгруппы меди с азотом не изучены. Азот не растворяется ни в твердой, ни в жидкой меди, по крайней мере до температур в 1400°С, при которых проводились исследования; не обнаружено взаимодействия меди с азотом до 900° С. Тем не менее в системе медь-азот обнаружено существование трех соединений сизм, получаемых косвенными методами.

Нитрид меди получается пропусканием аммиака над тонкоизмельченными CuO, Cu<sub>2</sub>O или CuF<sub>2</sub> при температуре 250-280°С. Предположения об образовании нитридов меди при пропускании аммиака над медью при температурах 900-1000° С не были подтверждены.

Хрупкость меди в этих условиях объясняется не образованием химических соединений, а влиянием на медь водорода, получающегося при диссоциации аммиака.

**2. Медь – Висмут.** Висмут практически не растворим в меди. При повышенном содержании висмута медь делается хрупкой; на электропроводность меди висмут заметного влияния не оказывает.

Висмут в меди является весьма вредной примесью. При небольших количествах его медь разрушается при горячей обработке давлением, а при повышенном содержании медь делается хрупкой и в холодном состоянии.

Висмут и свинец в сплавах с медью образуют легкоплавкие эвтектики, которые при кристаллизации затвердевают в последнюю очередь и располагаются по границам ранее выпавших зёрен меди (кристаллов).

**3. Медь – Цинк. Латунь.** Медь с цинком образует твердый раствор с предельной концентрацией цинка 39 % (Рисунок 1). При большем содержании цинка образуется электронное соединение CuZn (β-фаза) с кристаллической решеткой ОЦК.

При 454 - 468 °С наступает упорядочение β-фазы (β'-фаза), сопровождающееся значительным повышением ее твердости и хрупкости. В

отличие от равновесного состояния  $\beta'$ -фаза появляется в структуре латуни при содержании цинка около 30 %.

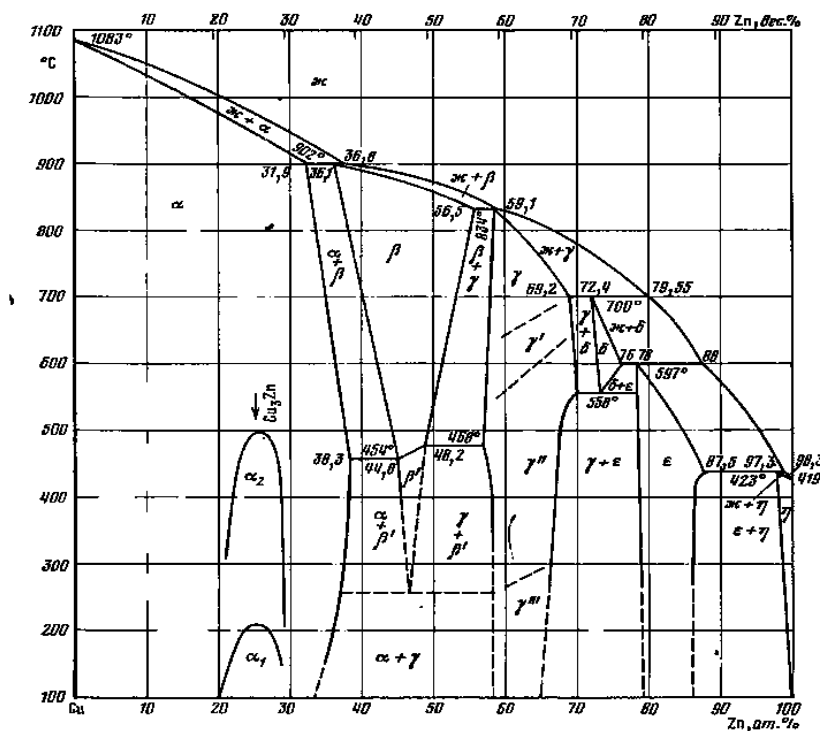


Рисунок 1 — Диаграмма состояния Cu-Zn[1]

В соответствии с изменением структуры меняются механические свойства латуней. Когда латунь имеет структуру  $\alpha$ -твердого раствора, увеличение содержания цинка вызывает повышение ее прочности и пластичности. Появление  $\beta'$ -фазы сопровождается резким снижением пластичности, прочность продолжает повышаться при увеличении цинка до 45 %, пока латунь находится в двухфазном состоянии.

Практическое значение имеют латуни, содержащие до 45 % Zn. Сплавы с большим содержанием цинка отличаются высокой хрупкостью. Механические свойства приведены на рисунке 2.

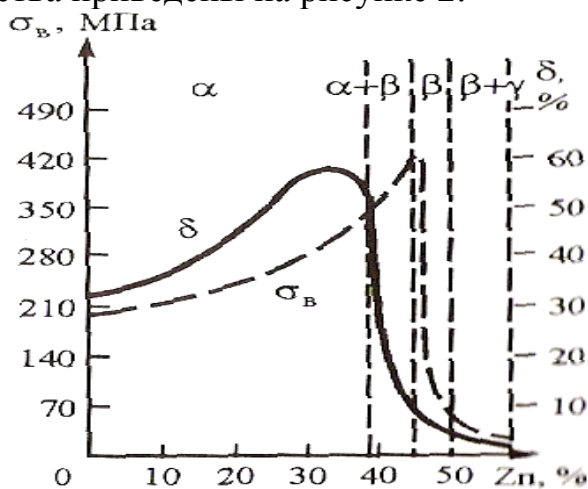


Рисунок 2 — Механические свойства латуней в соответствии с изменением структуры [2]

В связи с высокой пластичностью однофазные латуни хорошо поддаются холодной пластической деформации, которая значительно повышает их прочность и твердость. Рекристаллизационный отжиг проводят при 600 - 700°C.

Повышение содержания цинка удешевляет латуни, улучшает их обрабатываемость резанием, способность прирабатываться и противостоять износу. Вместе с тем уменьшаются теплопроводность и электрическая проводимость, которые составляют 20 - 50 % от характеристик меди.

Примеси повышают твердость и снижают пластичность латуней. Особенно неблагоприятно действуют свинец и висмут, которые в однофазных латунях вызывают красноломкость. Поэтому однофазные латуни в основном выпускают в виде холоднокатаных полуфабрикатов: полос, лент, проволоки, листов, из которых изготавливают детали методом глубокой вытяжки (радиаторные трубки, снарядные гильзы, сильфоны, трубопроводы), а также детали, требующие по условиям эксплуатации низкую твердость (шайбы, втулки, уплотнительные кольца и др.).

В двухфазных латунях вследствие  $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения легкоплавкие эвтектики находятся не по границам, а внутри зерен твердого раствора и не влияют на их способность к горячей пластической деформации. Ввиду невысокой пластичности эти латуни выпускают в виде горячекатаного полуфабриката: листов, прутков, труб, штамповок. Вследствие небольшого температурного интервала кристаллизации двойные латуни обладают низкой склонностью к дендритной ликвации, высокой жидкотекучестью, малой рассеянной усадочной пористостью хорошей герметичностью. Но, несмотря на это, они практически не применяются для фасонных отливок, так как имеют довольно большую концентрированную усадочную раковину. Этот недостаток в меньшей степени присущ легированным латуням.

Легированные латуни применяют как для деформируемых полуфабрикатов, так и в виде фасонных отливок. Литейные латуни, как правило, содержат большее количество легирующих элементов.

Для легирования латуней используют Al, Fe, Ni, Sn, Si. Эти элементы повышают прочность и коррозионную стойкость латуней. Поэтому легированные латуни широко применяют в речном и морском судостроении (конденсаторные и манометрические трубки и другие детали).

#### Библиографический список

1. Хансен М.А. Структура бинарных сплавов. - М.: Металлургиздат, 1941. - 640с.
2. Материаловедение : учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 648 с.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КРЕМНИЯ С АЗОТИСТЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ****Семенова И.Р.****Научный руководитель: д.т.н., профессор Афанасьев В.К.***Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Кремний – химический элемент IV группы Периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Его порядковый номер 14, атомная масса 28,08, атомный объем  $12,04 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/моль. Кремний относится к неметаллам, принадлежит к группе углерода. По распространенности в природе кремний уступает только кислороду. Его массовая доля в земной коре составляет 27,6 %. Земная кора, более чем на 97% состоит из кремнезёма и силикатов. Кислородные и органические соединения входят также в состав растений и животных.

Искусственно полученный кремний может быть как аморфным, так и кристаллическим. Аморфный кремний – коричневатый, тонкодисперсный, сильно гигроскопичный порошок, состоит из мельчайших кристалликов кремния. Он может быть получен восстановлением SiCl<sub>4</sub> при высоких температурах парами цинка.

Кристаллический кремний имеет серо-стальной цвет и отличается металлическим блеском. Плотность кристаллического кремния при 20°C составляет 2330 кг/м<sup>3</sup>. Кремний плавится при 1417 °C. Имеет кубическую гранецентрированную решетку типа алмаза с периодом  $a = 5,431 \text{ \AA}$ . Поликристаллы кремния отличаются высокой твердостью (при 20°C HRC=106). Однако кремний очень хрупок, поэтому имеет высокую прочность при сжатии ( $\sigma_{\text{всж}} \approx 690$  МПа) и очень низкое сопротивление разрыву ( $\sigma_{\text{в}} \approx 16,7$  МПа). Температурный коэффициент линейного расширения  $2,33 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

При низких температурах кремний химически довольно инертен. С азотом кремний при температуре выше 1000 °C образует устойчивое соединение – нитрид кремния с выделением большого количества тепла. Водород непосредственно не взаимодействует с кремнием. Водородные соединения кремния – кремневодороды или силаны можно получить действием соляной кислоты на силицид магния. Основное соединение кремния с углеродом – карбид кремния SiC. Его получают в дуговых электропечах из смеси кварцевого песка и кокса.

Кремний применяется главным образом в металлургии и в полупроводниковой технике. В металлургии он используется для удаления кислорода из расплавленных металлов и в качестве легирующего элемента. В полупроводниковой технике кремний высокой чистоты используют для изготовления фотоэлементов, усилителей, выпрямителей. Кристаллы кремния высокой чистоты, имеющие минимальное число дефектов структуры, характеризуются очень низкой электрической проводимостью.



Примеси и нарушения правильности строения резко увеличивают их проводимость. Полупроводниковые элементы на основе кремния выдерживают нагрев до 250 °С, что расширяет область их применения.

**Cr – Si. Хром – кремний.** Хром — твёрдый, тяжёлый, тугоплавкий металл голубовато-стального цвета. В свободном виде хром практически не встречается. Входит в состав более 40 различных минералов.

Хром является переходным металлом с кубической объемно-центрированной решеткой,  $a = 2,8845 \text{ \AA}$ . Температура плавления 1890°С, Плотность 7190 кг/м<sup>3</sup> температурный коэффициент линейного расширения  $5,88 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

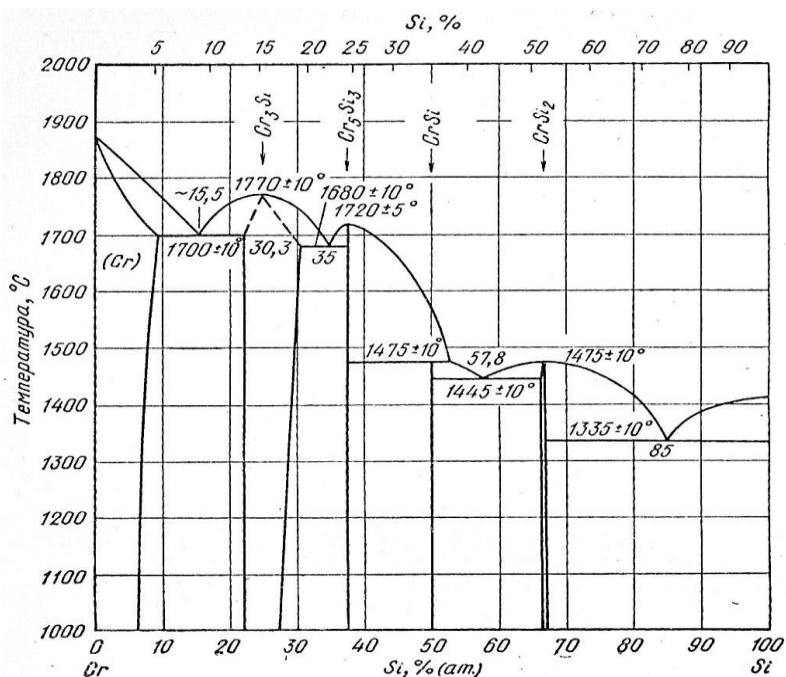


Рисунок 1 – Диаграмма состояния Cr – Si

Существуют следующие соединения хрома с кремнием: Cr<sub>3</sub>Si, CrSi, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> и CrSi<sub>2</sub>.

Хром растворяет незначительное количество кремния (примерно 1 вес. %), причем решетка его сжимается. Но сам не растворяется в кремнии в твердом состоянии.

Эвтектические реакции протекают при температурах 1700, 1680, 1445, 1335 °С.

*Применение.* Силикотермический Хром используют для выплавки нихрома, нимоника, других никелевых сплавов и стеллита.

**Mg – Si. Магний – кремний.** Магний – серебристо-белый металл. Содержание в земной коре 2,1% (по массе). Кристаллизуется в гексагональной решётке,  $a = 3,2028 \text{ \AA}$ .

Отличительным свойством магния является его невысокая плотность 1739 г/см<sup>3</sup>. Магний легче железа в 4,5 раза, меди в 5 раз, титана в 2,6 раза и алюминия в 1,5 раза.

Температура плавления магния равна 651°С. температурный

коэффициент линейного расширения  $26 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

На рисунке 2 приведена диаграмма состояния Mg-Si.

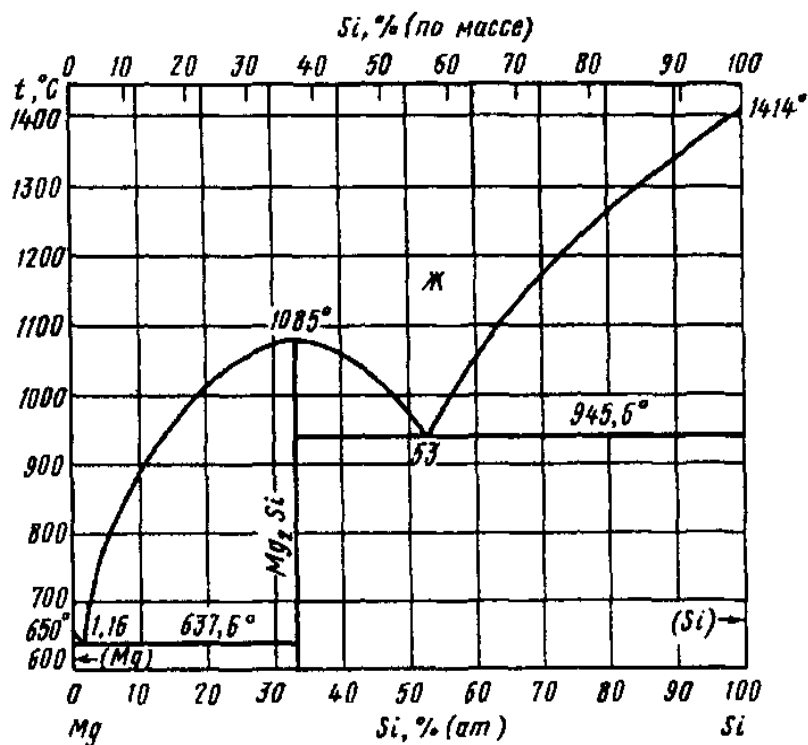


Рисунок 2 – Диаграмма состояния Mg-Si

Соединение  $\text{Mg}_2\text{Si}$  плавится при температуре  $1085^\circ\text{C}$ , а эвтектические реакции с его участием протекают при температурах  $637,6$  и  $945,6^\circ\text{C}$ . Концентрация Si, соответствующая эвтектическим точкам, составляет 1,16 % (ат.) и 53 % (ат.) соответственно.

Растворимость Si в Mg очень мала и составляет менее 0,1 % (ат.). Растворимость Mg в Si также практически отсутствует.

Применяют для получения сплавов системы Al—Mg—Si. Силикомагний служит графитизатором при горячей сварке чугуна, силикат магния (тальк) применяют в качестве пищевых добавок и в кондитерской промышленности, также используют в бумагоделательной промышленности и в качестве строительных материалов.

**Co-Si. Кобальт – кремний.** Кобальт – тяжелый, твердый вязкий блестящий голубовато-серый металл. Существует в двух кристаллических модификациях:  $\alpha$ -Co с гексагональной плотноупакованной решеткой,  $\beta$ -Co с кубической гранцентрированной решеткой. Плотность кобальта равна  $8900 \text{ кг/м}^3$ ,  $t_{\text{пл}}=1493^\circ\text{C}$ , температурный коэффициент линейного расширения  $12,08 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . В земной коре содержание кобальта равно 0,004 % по массе. Кобальт входит в состав более 30 минералов.

Диаграмма состояния характеризуется существованием пяти промежуточных фаз:  $\text{Co}_2\text{Si}$ ,  $\text{Co}_3\text{Si}_2$ ,  $\text{CoSi}$ ,  $\text{CoSi}_2$ ,  $\text{CoSi}_3$ . Максимальные температуры плавления  $\text{Co}_2\text{Si}$ ,  $\text{CoSi}$ ,  $\text{CoSi}_3$  равны соответственно 1327, 1325,

1306°C  $\text{CoSi}_2$  образуется по перитектической реакции при 1277°C. Фаза  $\text{Co}_3\text{Si}_2$  образуется по перитектоидной реакции примерно при 1215 °С. Существование  $\text{Co}_2\text{Si}$ ,  $\text{CoSi}$  и  $\text{CoSi}_2$  уже предполагалось ранее, однако не было окончательно доказано, что эти сплавы гомогенны.

Имеется некоторая растворимость  $\text{Co}$  в твердом состоянии. Однако маловероятно, что растворимость  $\text{Co}$  в  $\text{Si}$  можно оценить, если она вообще имеется.

*Силицид кобальта* отличный термоэлектрический материал и позволяет производить термоэлектродгенераторы с высоким КПД.

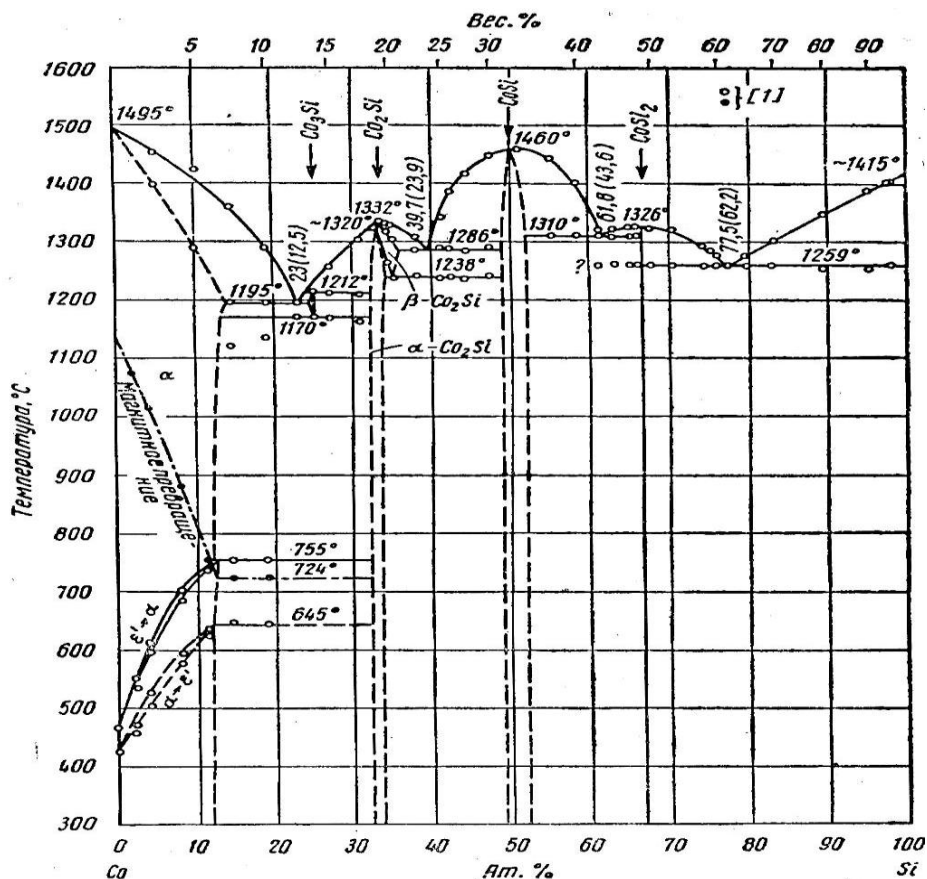


Рисунок 3 – Диаграмма состояния Co-Si

#### Библиографический список

1. Строение и свойства двойных металлических систем: справочник. Т. 2. / А.Е. Вол - М.: Физматгиз, 1962. - 984 с.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник: Т.1,2 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
3. Лахтин Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин. - М.: Машиностроение, 1990. – 376 с.
4. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. М.: Metallurgy, 1970. – 472 с.

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НИКЕЛЯ С АЗОТИСТЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

**Шаповал Е.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Афанасьев В.К.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Рассмотрено взаимодействие никеля как водородистого элемента с некоторыми азотистыми элементами. По периодической системе В.К. Афанасьева [1] к азотистым элементам относят:

He, Be, N, Ne, Mg, P, Ar, Sc, Cr, Co, Zn, As, Kr, Y, Mo, Rh, Cd, Sb, Xe, La, Ce, Eu, Dy, Tm, Hf, Re, Pt, Ti, Po, Ra, Pa, Pu, Bk, Fm, Lr. В эту группу входят благородные газы, кроме радона, металлы – кроме металлов I группы.

Согласно разработанному Н. С. Курнаковым физико-химического анализа сплавов все диаграммы никель-азотистые элементы можно отнести к трем группам:

Диаграммы с несколькими устойчивыми или неустойчивыми соединениями, с твердыми растворами на базе химического соединения, например система Ni – Y (рисунок 1) [2], а также их различные комбинации. Причем диаграммы с твердыми растворами на базе химического соединения преобладают. Наличие химических соединений в диаграммах состояния будет давать общее направление свойствам соответствующих им сплавов, а также зависеть уже от конкретного вида химического соединения.

Следующие две группы - диаграммы, которые образуют механические смеси (рисунок 1) и диаграммы состояния сплавов никеля с азотистыми элементами, образующими ограниченные твердые растворы (рисунок 2) [3]. Таких диаграмм равное количество (по 7). Поэтому, скорее всего, соответствующие им закономерности изменения свойств сплава с изменением концентрации будут оказывать примерно равное влияние на общие свойства группы сплавов никеля с азотистыми элементами.

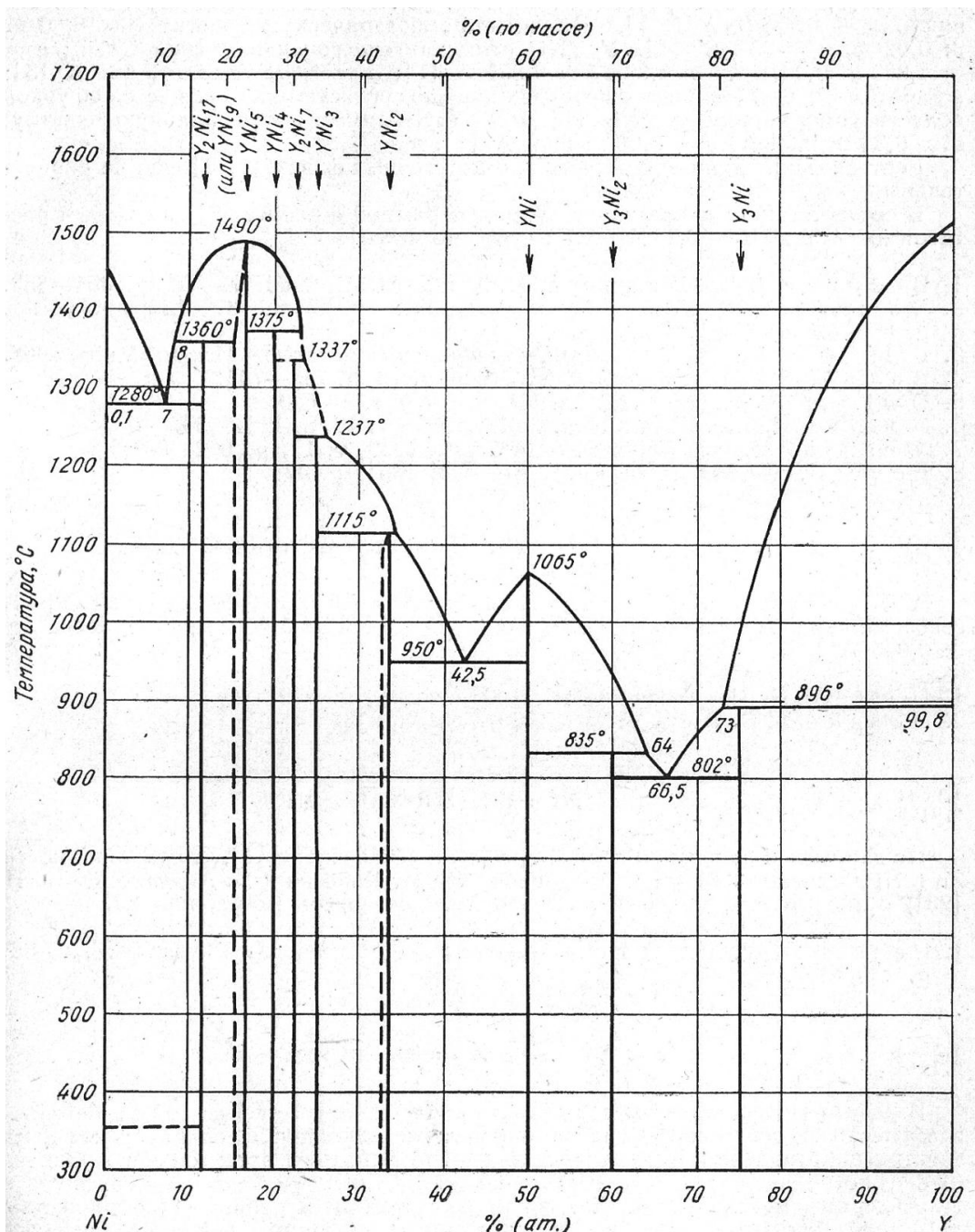


Рисунок 1 – Диаграмма состояния никель – иттрий

Приводимые зависимости свойств сплавов от вида диаграммы состояния — лишь приближенная схема, не всегда подтверждающаяся опытом, так как в ней не учитываются форма и размер кристаллов, их взаимное расположение, температура и другие факторы, сильно влияющие на свойства сплава. Особенно сильно влияние этих факторов сказывается на свойствах сплавов — смесей. Точное изучение свойств в зависимости от изменения концентраций (т. е. построение диаграммы состав — свойства) является важным дополнением при изучении и построении диаграмм состояний.

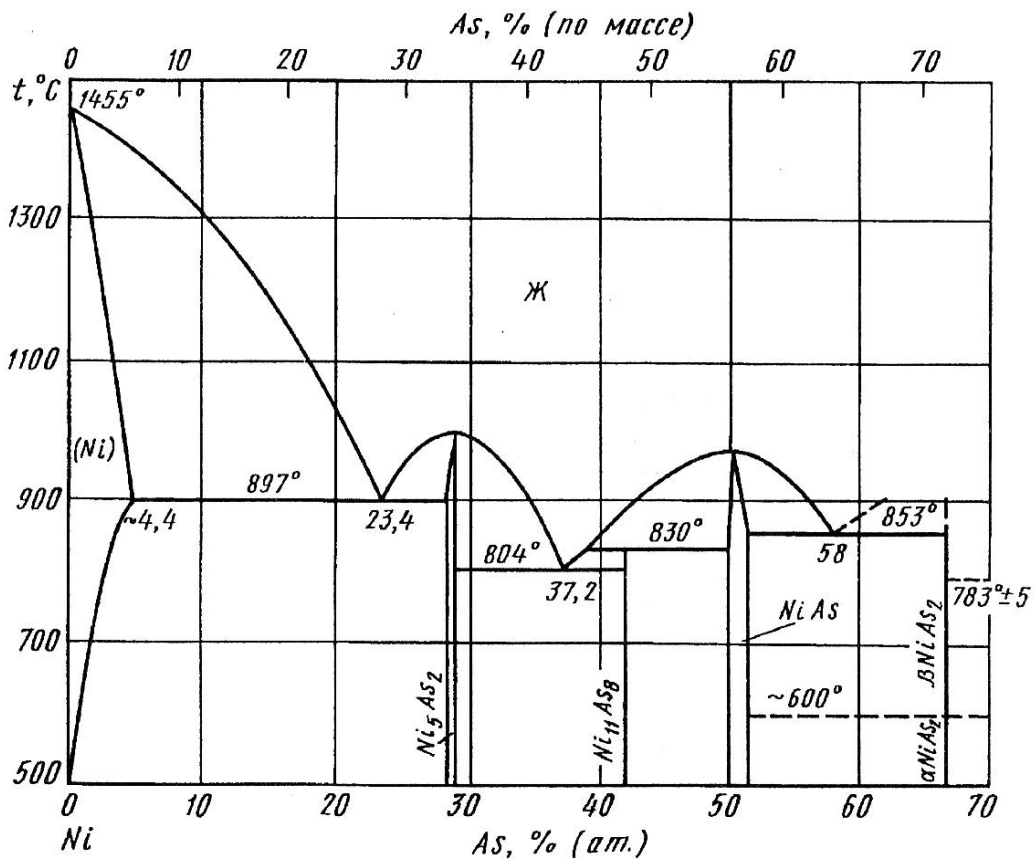


Рисунок 2 – Диаграмма состояния системы никель – мышьяк

### Библиографический список

1. Афанасьев В.К. Периодическая система химических элементов Афанасьева. Новый взгляд/ В.К. Афанасьев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2010, №6 – с. 49-52.
2. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов.: справочник Т.1,2: пер.с англ. М.: Металлургия, 1970, 455, 472 с.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т.2 : справочник : в 3 т. / под ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997:1024 с.
4. Шанк Ф.А. Структуры двойных сплавов : пер. с англ. / под ред. И.И. Новикова. – М.: Металлургия, 1973, 760 с.
5. Структуры двойных сплавов. Т. 1,2 : пер. с англ. / М. Хансен, К. Андерко; под ред. И.И. Новикова, И.Л. Рогельберга. – М.: Металлургиздат, 1962. - 1488 с.
6. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986, 542 с. : ил.
7. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т.1 : справочник : в 3 т. / под ред. Н.П.Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996, 992 с.

УКД 621.01

**КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ НЕВОЗМОЖНОСТИ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ТОЧКИ ПРИКРЕПЛЕНИЯ ШТОКА ПОРШНЯ ПАРОВОЙ МАШИНЫ УАТТА**

**Ковалева М.П.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Паровая машина в виде так называемого полного параллелограмма Уатта, была запатентована им в 1784г.[1]. Кинематическая схема параллелограмма приведена на рисунке 1. На схеме арабскими цифрами указаны номера звеньев, а римскими- кинематические пары. Всего в механизме восемь звеньев (от 1 до 8) и двенадцать кинематических пар пятого класса (от I до XII)

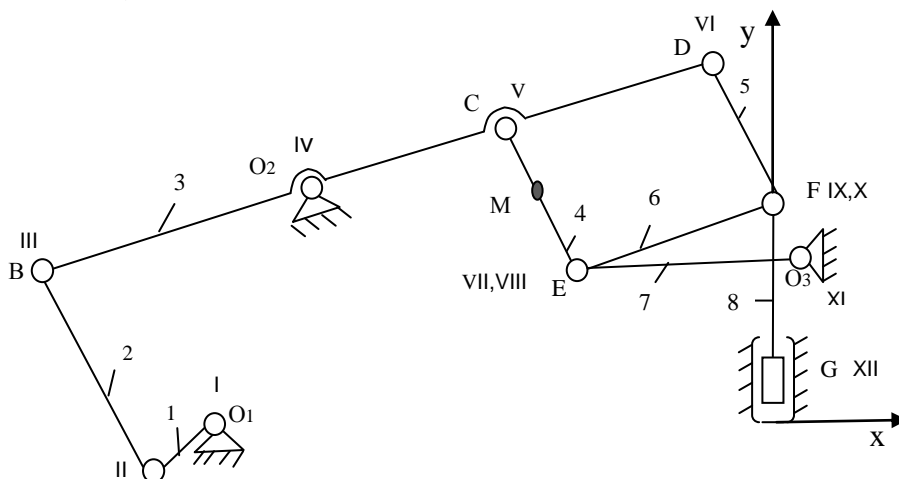


Рисунок 1 – Кинематическая схема параллелограмма Уатта

Отметим, что шарнирный четырехзвенник  $O_2CEO_3$ , в котором длины звеньев  $O_2C$  и  $EO_3$  выбраны одинаковыми, представляет собой антипараллелограмм или сокращенный параллелограмм Уатта. В этом параллелограмме точка  $M$  находится на середине звена  $CE$  при условии, что расстояние между неподвижными шарнирами  $O_2$  и  $O_3$  будет равно:  $O_2O_3 = \sqrt{CE^2 + 4CO_2^2}$ . При заданном движении звена 3 точка  $M$  движется по траектории в виде вытянутой восьмерки, т.е. приближается к прямолинейному движению.

Полный параллелограмм Уатта образуется путем присоединения к основному четырехзвеннику  $O_2CEO_3$  двух звеньев  $EF$  и  $DF$  таким образом,

что образуется параллелограмм CDFE.

Если звенья  $O_2C=CD=EF=EO_3$  и  $CE=DF$ , то траектория точки F будет подобна траектории точки M и ещё более приближена к прямой линии [2].

При подаче пара в цилиндр G поршень начинает двигаться возвратно-поступательно и через шток передает движение точки F, которая через систему звеньев приводит к непрерывно-вращательному движению кривошипа  $AO_1$ . Чтобы понять, по какой траектории в действительности движется точка F, зададим некую начальную скорость звену 1, т.е. кривошип примем за ведущее звено. Рассмотрим положение точки F в системе координат  $xu$ , показанным на рисунке 1.

После построения положений механизма, задавая углы поворота кривошипу, получим график истинной траектории движения точки F (рисунок 2).

Из графика траектории точки F видно, что она непрямолинейна, а ее отклонения могут быть измерены и оценены.

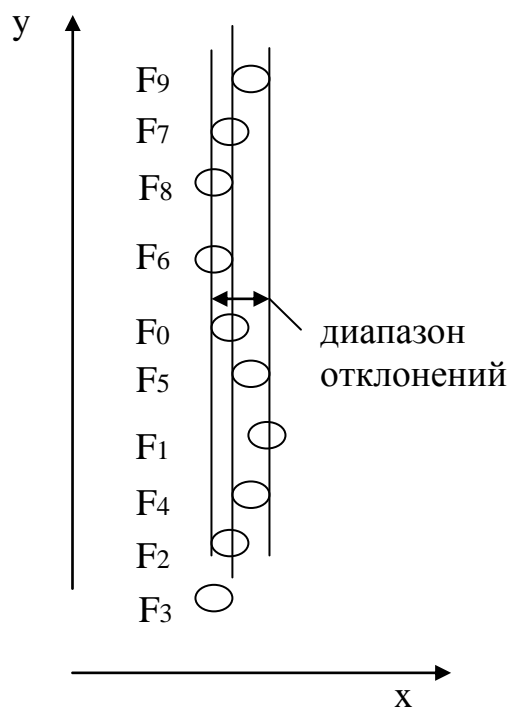


Рисунок 2 – График траектории точки F

Невозможность прямолинейного движения поршня, может быть показана и иным методом, а именно методом построения планов скоростей механизма с нахождением истинного направления вектора скорости F. Такие построения были выполнены для девяти положений поршня. На рисунке 3 приведены наиболее характерные отклонения вектора скорости точки F от прямолинейного направления.



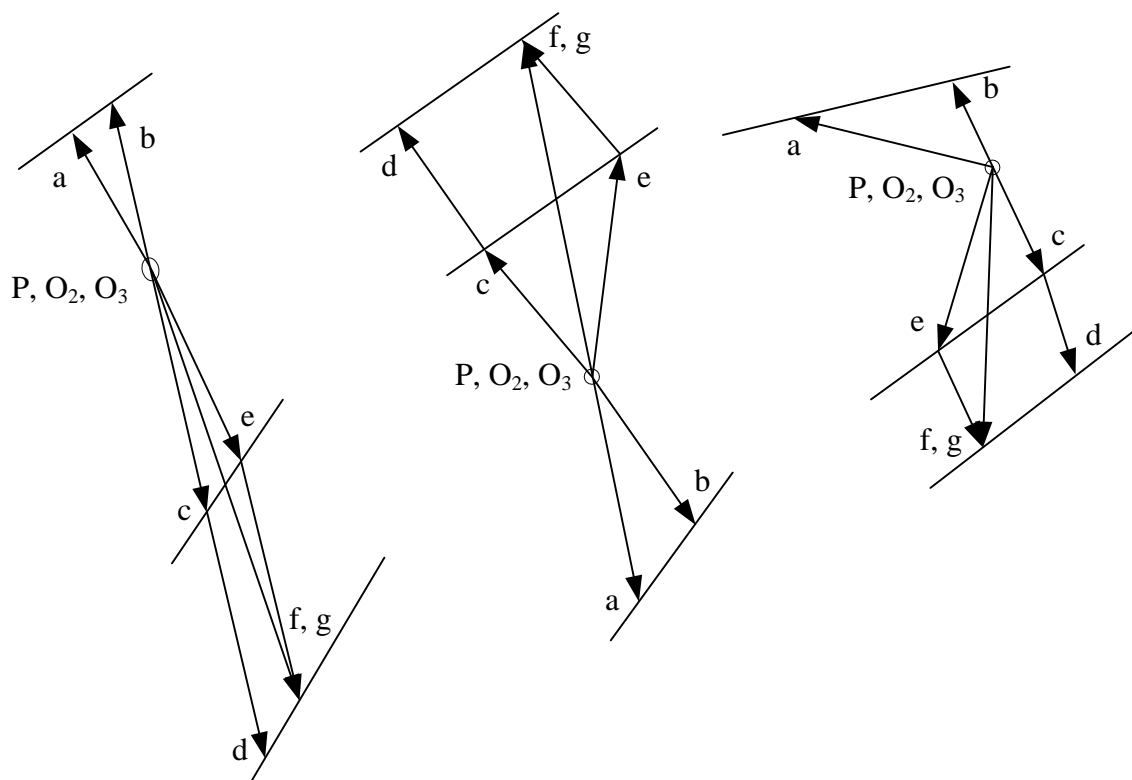


Рисунок 3 – Планы скоростей точки F

Отметим, что на невозможность обеспечения подвижности механизма Уатта было указано ещё в работе [3] с использованием для этой цели формулы подвижности П.Л. Чебышева. При числе звеньев в механизме, равном  $n=8$ , и числе кинематических пар  $p_5=12$ , подвижность оказывается равной нулю, именно поэтому паровая машина Уатта не получила широкого применения.

#### Библиографический список

1. Конфедератов И.Я. Джемс Уатт-изобретатель паровой машины. Издательство «Наука», Москва 1969. с. 162-182.
2. Чебышев П.Л. «О параллелограммах». Полное собрание сочинений П.Л. Чебышева, том IV. Теория механизмов. Издательство АН СССР, Москва-Ленинград, 1948. с. 51-53.
3. Дворников Л.Т. Развитие идей П.Л. Чебышева в решении задач синтеза структур механических систем. Математика и механика в современном мире: материалы Российской научно-практической конференции 5-6 июня 2001года, Калуга/ Под ред. Ю.А. Дробышева и К.Г. Никифорова. – Калуга: Издательство КГПУ им. К.Э. Циолковского, 2001. с.50-57.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЕНИЙ ЗВЕНЬЕВ ЧЕТЫРЕХЗВЕННОГО КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА

**Ермолаева Н.Ю.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

На рисунке 1 представлен четырехзвенный кулачковый механизм с изменяемым замкнутым контуром. Исследование скоростей звеньев этого механизма было показано в работе [1]. Обратимся к определению ускорений его звеньев.

Ускорения точек  $A_1$  и  $B_1$  кулачка определяются как нормальные ускорения  $\vec{a}_{A1}^n$  и  $\vec{a}_{B1}^n$  соответственно, так как угловая скорость кулачка задается постоянной. Величины ускорений точек  $A_1$  и  $B_1$  определяются следующими формулами

$$a_{A1} = a_{A1}^n = \omega_1^2 \cdot l_{OA_1}, \quad (1)$$

$$a_{B1} = a_{B1}^n = \omega_1^2 \cdot l_{OB_1}, \quad (2)$$

Точка  $F_2$ , принадлежащая звену 2, является мгновенным центром ускорений в движении звена 2 относительно звена 1,

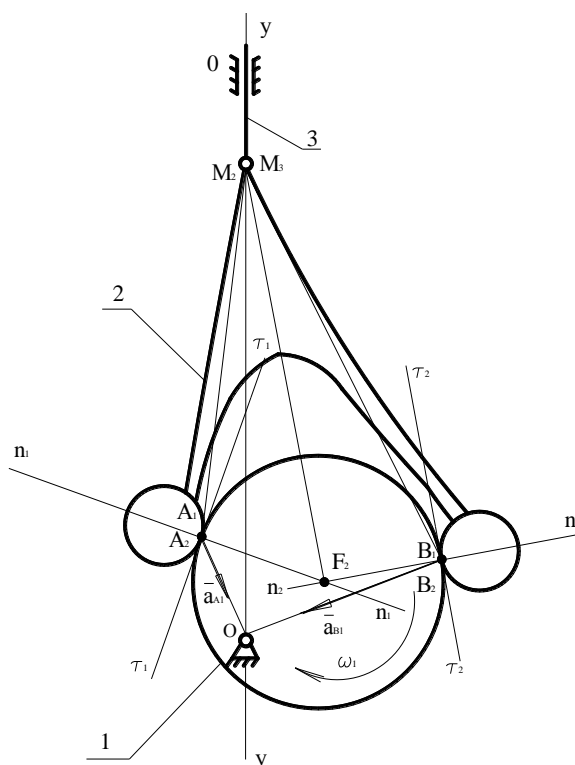


Рисунок 1 – Четырехзвенный кулачковый механизм

поэтому ее ускорение может быть определено через найденные ранее величины ускорений двух точек кулачка по формулам

$$\begin{cases} \vec{a}_{F_2} = \vec{a}_{A_1} + \vec{a}_{F_2A_1}^n + \vec{a}_{F_2A_1}^t, \\ \vec{a}_{F_2} = \vec{a}_{B_1} + \vec{a}_{F_2B_1}^n + \vec{a}_{F_2B_1}^t, \end{cases} \quad (3)$$

где  $\vec{a}_{F_2A_1}^n$  и  $\vec{a}_{F_2B_1}^n$  - нормальные составляющие ускорений точки  $F_2$  относительно точек  $A_1$  и  $B_1$  соответственно. Величины этих ускорений определяются по формулам

$$a_{F_2A_1}^n = \omega_1^2 \cdot l_{F_2A_1}, \quad (4)$$

$$a_{F_2B_1}^n = \omega_1^2 \cdot l_{F_2B_1}, \quad (5)$$

где  $\omega_1$  - угловая скорость кулачка ( $\omega_1 = const$ ),

$l_{F_2A_1}$  и  $l_{F_2B_1}$  - расстояния от точки  $F_2$  до точек  $A_1$  и  $B_1$  соответственно.

Точка  $M_3$  принадлежит толкателю (звену 3). Точка  $M_2$  рассматривается как принадлежащая промежуточному звену 2. Очевидно, что ускорения этих точек равны между собой в любой момент времени. Ускорение точки  $M_2$  может быть определено через ускорение точки  $F_2$ . Для точки  $M_2$  верна система уравнений

$$\begin{cases} \vec{a}_{M_2} = \vec{a}_{M_3}, \\ \vec{a}_{M_2} = \vec{a}_{F_2} + \vec{a}_{M_2F_2}^n + \vec{a}_{M_2F_2}^t, \end{cases} \quad (6)$$

где  $\vec{a}_{M_2F_2}^n$  - нормальное ускорение точки  $M_2$  относительно  $F_2$ , равное по величине

$$a_{M_2F_2}^n = \omega_2^2 \cdot l_{M_2F_2}, \quad (7)$$

где  $\omega_2$  - угловая скорость промежуточного звена 2 [1],

$l_{M_2F_2}$  - расстояние от точки  $M_2$  до точки  $F_2$ .

Ускорение точки  $A_2$ , принадлежащей промежуточному звену 2, находится по формулам

$$\begin{cases} \vec{a}_{A_2} = \vec{a}_{M_2} + \vec{a}_{A_2M_2}^n + \vec{a}_{A_2M_2}^t, \\ \vec{a}_{A_2} = \vec{a}_{A_1} + \vec{a}_{A_2A_1}. \end{cases} \quad (8)$$

Величина ускорения точки  $B_2$  находится по уравнениям

$$\begin{cases} \vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{M_2} + \vec{a}_{B_2M_2}^n + \vec{a}_{B_2M_2}^t, \\ \vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{B_1} + \vec{a}_{B_2B_1}. \end{cases} \quad (9)$$

Величины нормальных ускорений  $\vec{a}_{A_2M_2}^n$  и  $\vec{a}_{B_2M_2}^n$  находятся как

$$a_{A_2M_2}^n = \omega_2^2 \cdot l_{A_2M_2}, \quad (10)$$

$$a_{B_2M_2}^n = \omega_2^2 \cdot l_{B_2M_2}. \quad (11)$$

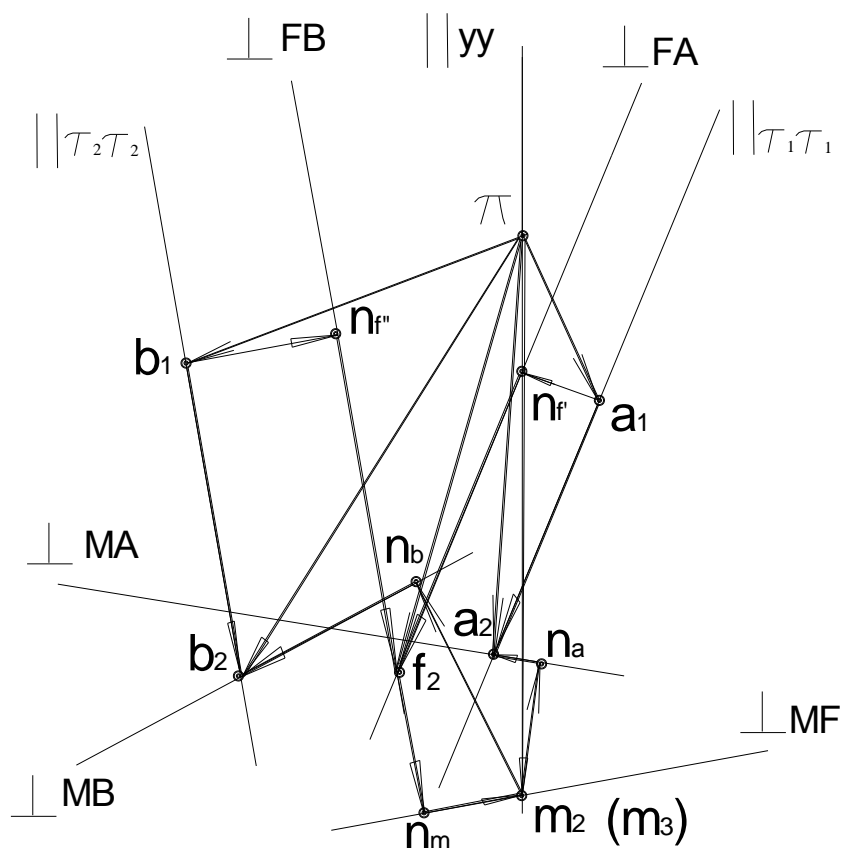


Рисунок 2 – План ускорений механизма

План ускорений механизма представлен на рисунке 2. На этом чертеже отрезок  $(\pi a_1)$  соответствует ускорению точки  $A_1$  кулачка, отрезок  $(\pi b_1)$  соответствует ускорению точки  $B_1$ . Отрезки  $(a_1 n_{f'})$  и  $(b_1 n_{f''})$  пропорциональны нормальным ускорениям точки  $F_2$  относительно точек  $A_1$  и  $B_1$  соответственно. Точка  $f_2$  находится на пересечении прямых, проведенных из точек  $n_{f'}$  и  $n_{f''}$ , и перпендикулярных направлениям  $FA$  и  $FB$  соответственно. Отрезок  $(f_2 n_m)$  соответствует нормальному ускорению точек  $M_2$  и  $M_3$  относительно точки  $F_2$ . Точка  $m_2(m_3)$  на чертеже находится на пересечении прямой, параллельной направляющей  $yu$  (проходящей через полюс плана ускорений  $\pi$ ) и прямой, проведенной из точки  $n_m$  перпендикулярно отрезку  $MF$ . Отрезки  $(m_2 n_a)$  и  $(m_2 n_b)$  соответствуют нормальным ускорениям точек  $A_2$  и  $B_2$  относительно точки  $M_2$ . Точка  $a_2$  лежит на пересечении прямой, параллельной касательной к профилю кулачка  $\tau_1 \tau_1$  (проходящей через точку  $a_1$ ), и прямой, перпендикулярной направлению  $MA$  (проходящей через точку  $n_a$  чертежа).

Величина  $\varepsilon_2$  углового ускорения промежуточного звена 2 равна

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{M2F2}^t}{l_{M2F2}} = \frac{\mu_a \cdot (n_m m_2)}{l_{M2F2}}$$

где  $\mu_a$  - масштабный коэффициент плана ускорений,

$(n_m m_2)$  – величина отрезка на плане ускорений, соответствующего

тангенциальному ускорению точки  $M_2$ .

### Библиографический список

1. Ермолаева Н.Ю. Определение скорости толкателя четырехзвенного кулачкового механизма графоаналитическим способом// «Труды всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Часть III/ Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2010.

УДК 62-129.1

## К ВОПРОСУ О СИНТЕЗЕ СТРУКТУР МЕХАНИЗМОВ С ПОДВИЖНЫМИ ПРИВОДАМИ

Желтухин Д.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В работе [1] авторами был дан метод структурного синтеза плоских рычажных механизмов с подвижными приводами (МПП), основанный на решении универсальной структурной системы [2]. Этого метода вполне достаточно для отыскания многих структур МПП, но в некоторых случаях необходимо учитывать дополнительные условия. Речь идет о тех случаях, когда в цепи механизма появляются так называемые замкнутые изменяемые контуры  $\alpha$ , образующиеся введением в цепь звеньев  $n_0$  [2], т.е. таких звеньев, которые не добавляют в цепь дополнительных кинематических пар. Именно этот параметр  $n_0$  необходимо учитывать при решении задачи структурного синтеза МПП.

Количество замкнутых изменяемых контуров  $\alpha$  определяется формулой

$$\gamma = \delta + \alpha, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – число ветвей цепи,  $\delta$  – число выходов цепи на стойку. С другой стороны число ветвей, с учетом звеньев  $n_0$ , может быть определено из выражения

$$\gamma = \tau + (\tau - 2)n_{\tau-1} + (\tau - 3)n_{\tau-2} + \dots + (i - 1)n_i + \dots + n_2 - n_0, \quad (2)$$

где  $\tau$  – наиболее сложное базисное звено,  $n_i$  – число звеньев, добавляющих в цепь по  $i$  кинематических пар.

Если свести выражения (1), (2), универсальную структурную систему [2] и условие равенства числа поступательных кинематических пар и подвижности МПП [1] в одну систему, то получим

$$\begin{cases} p_B + p_{II} = \tau + (\tau - 1)n_{\tau-1} + (\tau - 2)n_{\tau-2} + \dots + in_i + \dots + 2n_2 + n_1, \\ n = 1 + n_{\tau-1} + n_{\tau-2} + \dots + n_i + \dots + n_2 + n_1 + n_0, \\ p_{II} = W, \\ 2p_B = 3(n - W), \\ \gamma = \delta + \alpha, \\ \gamma = \tau + (\tau - 2)n_{\tau-1} + (\tau - 3)n_{\tau-2} + \dots + (i - 1)n_i + \dots + n_2 - n_0. \end{cases} \quad 3)$$

Решая совместно два первых уравнения и вводя параметр  $N$ , можно упростить систему (3) до вида

$$\begin{cases} n = 2\tau + 2N + W - 2n_0 - 2, \\ p_{II} = W, \\ p_B = 3(\tau + N - n_0 - 1), \\ \gamma = \delta + \alpha, \\ \gamma = \tau + N - n_0, \end{cases} \quad 4)$$

где  $N$  – параметр, учитывающий наличие в цепи механизма звеньев, которые добавляются по  $i > 1$  кинематических пар.

В общем виде параметр  $N$  определяется формулой

$$N = (\tau - 2)n_{\tau-1} + (\tau - 3)n_{\tau-2} + \dots + (i - 1)n_i + \dots + 2n_3 + n_2. \quad 5)$$

По системе (4), задаваясь подвижностью  $W$  и значением  $\tau$ , можно находить все параметры, определяющие кинематическую цепь: число поступательных  $p_{II}$  и вращательных  $p_B$  кинематических пар, общее число звеньев механизма  $n$ , звеньев  $n_i$  и  $n_0$ .

#### Библиографический список

1. Желтухин Д.В., Дворников Л.Т. Метод структурного синтеза механизмов с подвижными гидроприводами – Материалы двадцатой научно-практической конференции по проблемам механики и машиностроения/ Сиб.гос.индустр.ун-т. – Новокузнецк, 2010. – 146 с.

2. Дворников Л.Т. Начала теории структуры механизмов: Учебное пособие/ Новокузнецк, 1994 – 102 с.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНВЕРСОРА ПОСЕЛЬЕ – ЛИПКИНА, КАК ПРИВОДНОГО МЕХАНИЗМА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА

**Гафиятов М.В.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В 1784 г. Джеймс Уатт [1] запатентовал так называемый полный параллелограмм, который был использован им при создании паровой машины. В этом параллелограмме в качестве точки прикрепления штока поршня паровой машины была использована точка звена антипараллелограмма, движущаяся квазилинейно. При этом, параллелограмм Уатта обладал нулевой подвижностью, что приводило к катастрофическому износу штока поршня машины.

На это обстоятельство обратил внимание П.Л. Чебышёв и, в частности на основании изучения машины Уатта, им была выведена формула подвижности механизмов в виде

$$W = 3n - 2\rho_5, \quad (1)$$

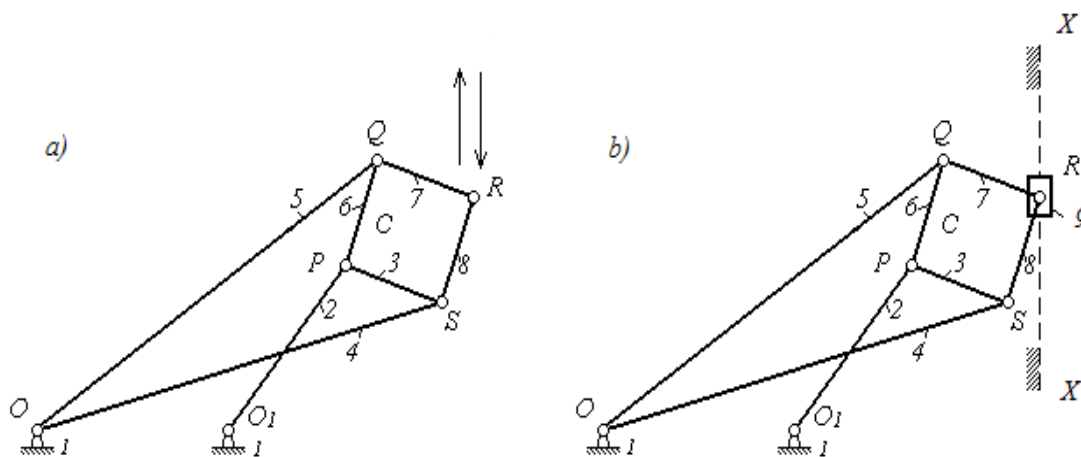
где  $n$  - число подвижных звеньев, а  $\rho_5$  - число одноподвижных кинематических пар.

Чтобы ликвидировать недостаток машины Уатта, Чебышёвым были найдены новые схемы механизмов, позволяющих получать движения их некоторых точек значительно более приближёнными к прямым. Однако вряд ли такой поиск мог в принципе привести к созданию машины по методу Уатта, обладающей нужной подвижностью. Докажем это на примере использования так называемого инверсора Поселье – Липкина [2].

Такой механизм показан на рисунке 1а. Если в нём обеспечено условие

$$OP \cdot OR = OP_1 \cdot OM = const, \quad (2)$$

то точка  $R$  будет двигаться строго прямолинейно. Доказательство этого положение исчерпывающе дано в [2]. Основываясь на нём, можно предположить, что, присоединив в точке  $R$  к механизму шток поршня, можно создать безупречную конструкцию паровой машины. Однако формула (1) даёт иной результат. Действительно, установив на инверсор (рис.1б) через шарнир  $R$  ползун 9, помещённый в направляющие  $x - x$ , получим механизм, для которого число подвижных звеньев  $n$  станет равным 8, число кинематических пар  $\rho_5$  равным 12.



Согласно формуле Чебышёва (1) подвижность этой системы окажется равной нулю, как и в случае с параллелограммом Уатта. Таким образом, формула Чебышёва учитывает некие и иные особенности машины, которые не могут быть выявлены простым анализом. Лишь соединяя ползун через дополнительный шатун можно заставить и параллелограмм Уатта, и инверсор Поселье - Липкина работать в соответствии со значением  $W=1$ .

#### Библиографический список

1. И.Я.Конфедератов. Джеймс Уатт - изобретатель паровой машины.- Москва: Наука, 1969.-192с.
2. Л.Д.Рузинов. Проектирование механизмов точными методами.- Ленинград: Машиностроение, 1972.-224с.

УДК 621.01

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РОЛИКОВОГО КАНТОВАТЕЛЯ КЛЕЩЕВОГО ТИПА

Тутынин А.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Широкое применение на прокатных станах получили роликовые кантователи клещевого типа. Особенность таких кантователей заключается в том, что использование роликов уменьшает сопротивление трения металла относительно кантователя [1, С. 375-377].

Схема механизма роликового кантователя клещевого типа приведена на рисунке 1. Механизм образован шестью подвижными звеньями ( $n = 6$ ): гидроцилиндрами 1 и 5, штоками 2 и 6, шатуном 4, выполненным за одно целое с роликом С, и коромыслом 3, выполненным за одно целое с роликом D.



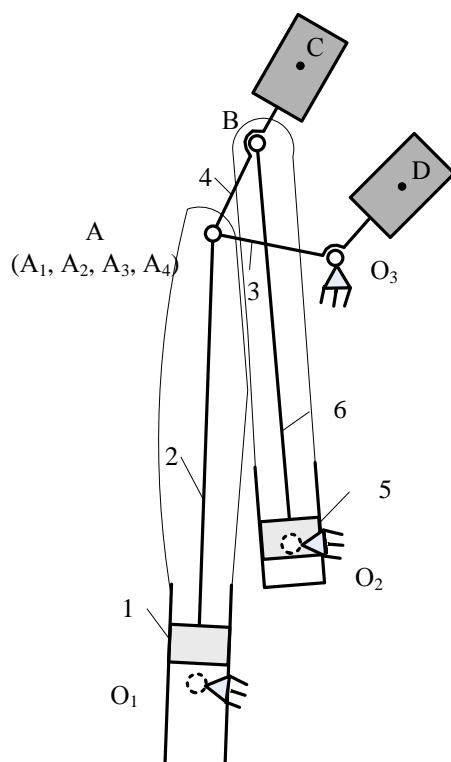


Рисунок 1 – Структурная схема механизма роликового кантователя клещевого типа

Звенья соединены между собой в восемь кинематических пар пятого класса ( $p_5 = 8$ ):  $O_1-1$ ,  $1-2$ ,  $O_2-5$ ,  $5-6$ ,  $2-3$ ,  $2-4$ ,  $6-4$ ,  $3-O_3$ . Пары  $1-2$  и  $5-6$  выполнены поступательными, а в узле  $A$  установлены два шарнира.

Степень подвижности плоских механизмов определяется формулой Чебышева П.Л. [2, С. 38]

$$W = 3n - 2p_5, \quad (1)$$

где  $n$  – число подвижных звеньев,

$p_5$  – число кинематических пар пятого класса.

Рассмотренная система при  $n = 6$  и  $p_5 = 8$  дает подвижность  $W = 2$ . Эти независимые движения задаются ползунами 2 и 6.

Проведем кинематическое исследование кантователя графо-аналитическим методом. Рассмотрим положение кантователя перед захватом полосы, когда движение задается подачей рабочей жидкости в гидроцилиндр 1. При этом поршень 2, перемещаясь вверх, заставляет коромысло 3 и шатун 4 поворачиваться.

В точке  $A$  выделим четыре точки:  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_4$ . Точка  $A_1$ , принадлежащая гидроцилиндру 1, совершает поворот относительно точки  $O_1$  со скоростью  $\bar{v}_{A_1O_1}$ , направленной перпендикулярно  $O_1A$ . Построим план скоростей механизма (рисунок 2).

Скорость  $\bar{v}_{A_2}$  точки  $A_2$ , принадлежащей штоку поршня 2, определится по формуле

$$\bar{v}_{A_2} = \bar{v}_{A_1 O_1} + \bar{v}_{A_2 A_1}, \quad (2)$$

где  $\bar{v}_{A_2 A_1}$  – заданная скорость движения поршня 2 относительно гидроцилиндра 1.

Кроме того, скорость  $\bar{v}_{A_2}$ , равная скорости  $\bar{v}_{A_3}$ , направлена перпендикулярно  $O_3 A$ . Из полюса  $p$  плана скоростей отложим штрихами вектор скорости  $\bar{v}_{A_2 A_1}$  и из его конца проведем линию, параллельную направлению скорости  $\bar{v}_{A_1}$ . Направив далее из полюса  $p$  линию, перпендикулярную  $O_3 A$ , найдем ее пересечение с прямой, перпендикулярной  $\bar{v}_{A_2 A_1}$ . Точка их пересечения определит скорости  $\bar{v}_{A_2}$ ,  $\bar{v}_{A_3}$ ,  $\bar{v}_{A_4}$ .

Далее определим скорость  $\bar{v}_{B_4}$  точки В. Эта скорость направлена перпендикулярно  $O_2 B$  и определится из выражений

$$\begin{cases} \bar{v}_{B_4} = \bar{v}_{A_4} + \bar{v}_{B_4 A_4}, \\ \bar{v}_{B_4} = \bar{v}_{B_4 O_2}. \end{cases} \quad (3)$$

$$\bar{v}_{B_4} = \bar{v}_{B_4 O_2}. \quad (4)$$

При этом скорость  $\bar{v}_{B_4 A_4} \perp AB, \bar{v}_{B_4 O_2} \perp O_2 B$ .

По скорости  $\bar{v}_{B_4 A_4}$  найдем угловую скорость звена 4

$$\omega_4 = \frac{v_{B_4 A_4}}{l_{AB}}, \quad (5)$$

тогда  $v_C = \omega_4 \cdot l_{AC}$ .

Угловая скорость звена 3 найдется из соотношения

$$\omega_3 = \frac{v_{A_3 O_2}}{l_{O_3 A}}, \quad (6)$$

тогда  $v_D = \omega_3 \cdot l_{O_3 D}$ .

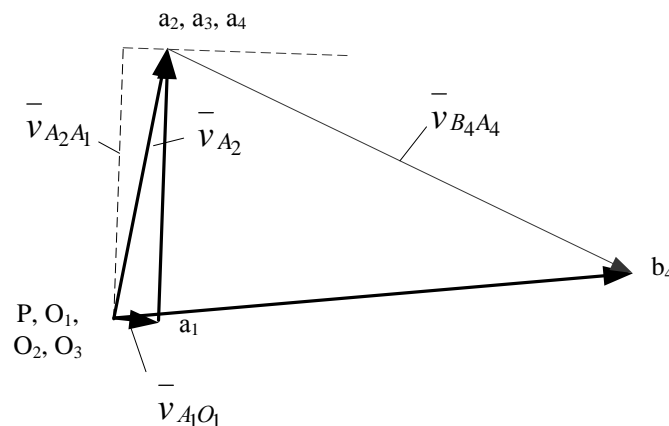


Рисунок 2 – План скоростей механизма для положения кантователя перед захватом полосы

Если включить оба гидроцилиндра, то план скоростей для этого случая может быть построен аналогично рассмотренному.

#### Библиографический список

1. Машины и агрегаты металлургических заводов : учебник для вузов. В 3 т. Т. 3 / А.И. Целиков [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1988. – 680 с. : ил.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 639 с.: ил.

УДК 622

### КИНЕТОСТАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОГО ВОСЬМИЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА ШЕСТОГО КЛАССА С ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ ПАРОЙ

Гаряшин В.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

На рисунке 1 показана кинематическая схема восьмизвеной двухщечковой дробильной машины с одним поступательно движущимся звеном. Механизм образован соединением звеньев в шестиугольный замкнутый изменяемый контур. Движение в нём передаётся от кривошипа 1 через трёхпарное звено 2. Поводки 3, 5 и 7 имеют сложное плоскопараллельное движение, трёхпарные звенья 4 и 6 имеют поступательное и качательное движение относительно стойки.

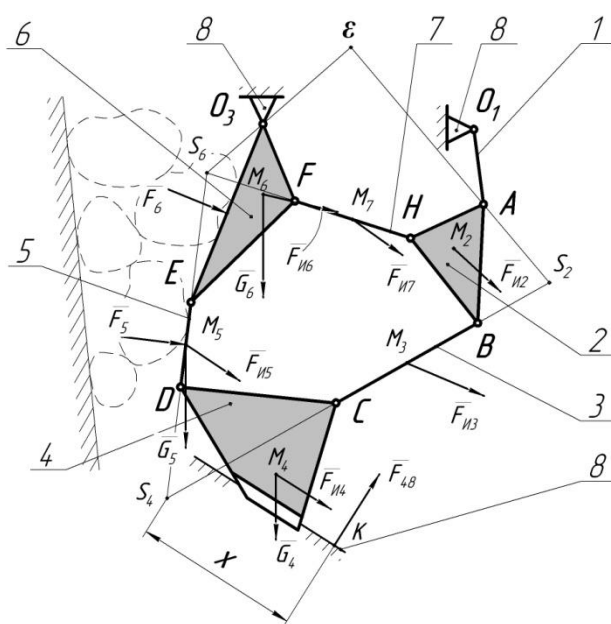


Рисунок 1 – Схема двухщечковой дробильной машины

Точки Ассура треугольных звеньев 2, 4 и 6 – соответственно  $S_2$ ,  $S_4$  и  $S_6$  – находятся на пересечении продолжений поводков: для звена 2 –  $FH$  и  $BC$ , для звена 4 –  $BC$  и  $ED$ , для звена 6 –  $FH$  и  $ED$ .

Задачей кинестатического исследования является определение реакций во всех кинематических парах механизма, возникающих при его движении. На механизм действуют следующие силы: усилия дробления материала  $F_6$  и  $F_5$ ; веса звеньев  $G_i$ ; силы инерции каждого звена  $F_{Иi}$ . Силы веса учтем только для самых тяжелых звеньев – 4, 5 и 6.

Чтобы провести кинестатическое исследование механизма в соответствии с [1], вначале рассмотрим поводки 7, 5 и 3. Для них составим уравнения моментов всех сил, действующих на каждый поводок сначала относительно одного шарнира, затем – относительно второго. Из этих уравнений определим тангенциальные составляющие реакций в шарнирах Н, F, D, E, В и С

$$\begin{aligned}\sum_{\text{звено } 7} M(F) &= 0; \Rightarrow F_H^T; \\ \sum_{\text{звено } 7} M(H) &= 0; \Rightarrow F_F^T; \\ \sum_{\text{звено } 5} M(E) &= 0; \Rightarrow F_D^T; \\ \sum_{\text{звено } 5} M(D) &= 0; \Rightarrow F_E^T; \\ \sum_{\text{звено } 3} M(C) &= 0; \Rightarrow F_B^T; \\ \sum_{\text{звено } 3} M(B) &= 0; \Rightarrow F_C^T.\end{aligned}$$

Составим уравнение моментов всех сил, действующих на звено 6, относительно точки  $S_6$  и уравнение моментов всех сил, действующих на звено 2, относительно точки  $S_2$ . Решив эти уравнения, определим тангенциальные составляющие реакций в шарнирах  $O_3$  и А

$$\begin{aligned}\sum_{\text{звено } 6} M(S_6) &= 0; \Rightarrow F_{O_3}^T; \\ \sum_{\text{звено } 2} M(S_2) &= 0; \Rightarrow F_A^T.\end{aligned}$$

Составляя далее уравнение моментов сил, действующих на звено 4 относительно точки  $S_4$  и уравнение моментов сил, действующих на всю группу Ассура, относительно точки  $\varepsilon$ , зафиксированной на продолжении направлений  $S_6O_3$  и  $S_2A$ , определим полную реакцию в поступательной паре и точку её приложения К

$$\begin{cases} \sum_{\text{звено } 4} M(S_4) = 0; \Rightarrow x; \\ \sum M(\varepsilon) = 0; \Rightarrow F_{48}.\end{cases}$$

Чтобы определить полные реакции во вращательных парах составим и решим уравнения сумм сил, действующих на звенья

$$\begin{aligned}\sum_{\text{звено } 4} \vec{F} &= 0; \Rightarrow \vec{F}_D, \vec{F}_C; \\ \sum_{\text{звено } 5} \vec{F} &= 0; \Rightarrow \vec{F}_E;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{\text{звено3}} \vec{F} &= 0; \Rightarrow \vec{F}_B ; \\ \sum_{\text{звено6}} F &= 0; \Rightarrow \vec{F}_F , \vec{F}_{O_3} ; \\ \sum_{\text{звено7}} \vec{F} &= 0; \Rightarrow \vec{F}_H ; \\ \sum_{\text{звено2}} \vec{F} &= 0; \Rightarrow \vec{F}_A .\end{aligned}$$

Таким образом определены реакции во всех кинематических парах за исключением шарнира  $O_1$ . Кинетостатическое исследование начального звена в рамках данной статьи не рассматривается.

#### Библиографический список

1. Стариков С.П. Обоснование кинематической и кинетостатической разрешимости шестизвенных шарнирных плоских групп Ассур / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Новосибирск , 2008. – 20с

УДК 621.01

## СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА С ТРЕМЯ САТЕЛЛИТАМИ

**Андреева Я.А.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В многосателлитных планетарных механизмах (рисунок 1) при заданной установке сателлитов через одно водило возникает проблема их подвижности. Уже при трех сателлитах, связанных с одним водилом, механизм оказывается статически неопределимой системой. Для нее, по формуле Чебышева П.Л.

$$W = 3n - 2p_5 - p_4$$

при  $n=5$ ,  $p_5=5$  и  $p_4=6$  подвижность  $W = -1$ .

Подвижность, равная минус единице, свидетельствует о неработоспособности механизма. В теории машин такой результат объясняют наличием избыточных связей. Механизмы, в которых избыточные связи отсутствуют, называют самоустанавливающимися.

Известен способ устранения избыточных связей путем установки дополнительных сателлитов через шатуны (рисунок 2) [1].

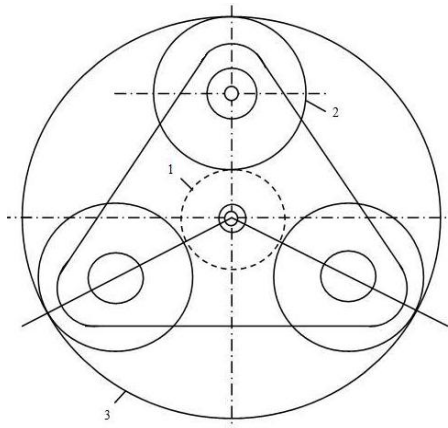


Рисунок 1 – Планетарный механизм с тремя сателлитами

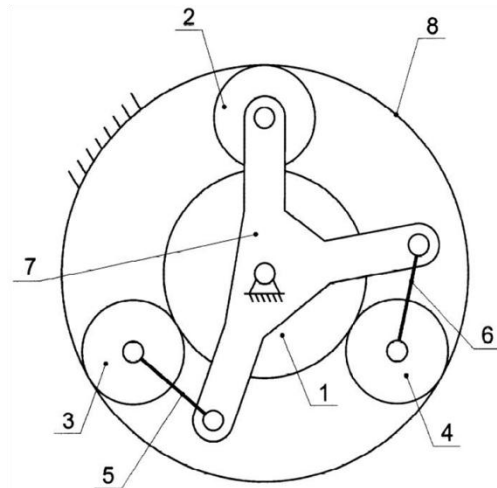


Рисунок 2 – Самоустанавливающийся планетарный механизм

Такое решение является не единственным. Вполне возможно добиться результата путем установки двух из трех сателлитов относительно водила через посредство дополнительных звеньев-трехпарного звена и шатуна, т.е. собрав их в четырехзвенную группу звеньев нулевой подвижности (рисунок 3) [2].

При неподвижном центральном колесе 8 с внутренним зацеплением и подвижном колесе 1 с внешним зацеплением, сателлит 2 соединен шарниром с водилом 3, а пассивные сателлиты 4 и 5 соединены шарниром с трехпарным звеном 6, которое связано с водилом 3 во вращательную кинематическую пару через шатун 7. Благодаря такому соединению, пассивные сателлиты 4 и 5 имеют возможность самоустанавливаться относительно ведущего колеса 1 и неподвижного колеса 8.

Работает механизм следующим образом. При задании движения центральному колесу 1, за счет зацепления с ним приходят в движение все три сателлита. При этом сателлит 2, как основной, отталкивается от неподвижного звена 8, приводит в движение водило 3, а два сателлита 4 и 5 перестают быть пассивными и также, как сателлит 2 передают мощность на водило 3 через трехпарное звено 6 и шатун 7, что позволяет этим сателлитам самоустанавливаться относительно колес 1 и 8.

В рассматриваемом механизме число подвижных звеньев  $n=7$  (колеса 1, 2, 4, 5, водило 3, трехпарное звено 6 и шатун 7), число шарниров  $p_5=7$  (соединения с опорой колеса 1 и 3, соединения колеса 2 с водилом 3, соединения колес 4 и 5 с трехпарным звеном 6, соединение звена 6 с шатуном 7 и соединение шатуна 7 с водилом 3), число кинематических пар  $p_4=6$  (контакты сателлитов 2, 4, 5 соответственно с колесами 1 и 8). По формуле Чебышева П.Л. получаем

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 7 - 6 = 1,$$

что доказывает работоспособность и самоустанавливаемость всего планетарного механизма в целом.

Проведем исследование структурного строения описанного планетарного механизма.

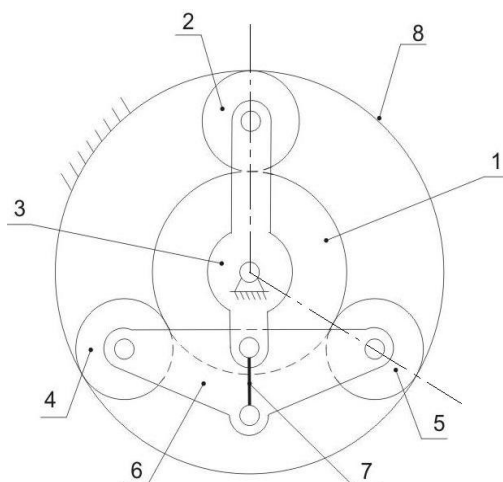


Рисунок 3 – Планетарный механизм с четырехзвенной группой Ассура

Для этого, разобьем механизм на структурные группы Ассура (рисунок 4 а, б, в).

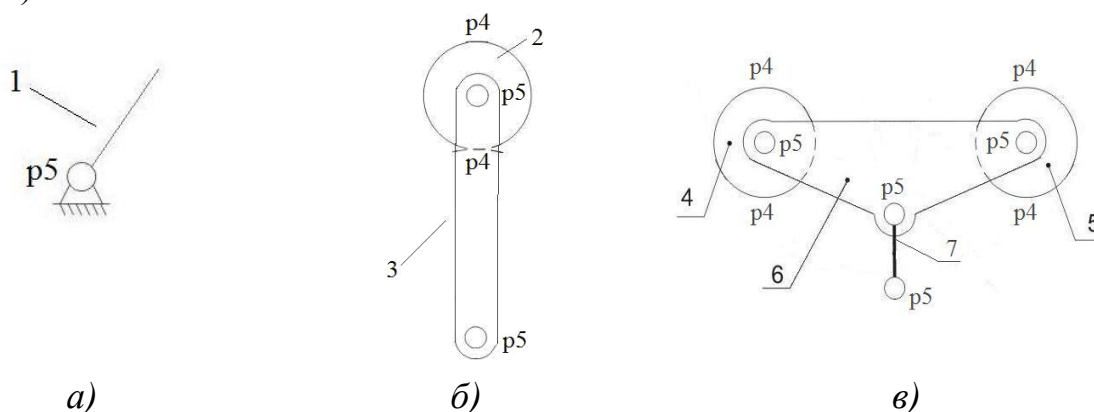


Рисунок 4 – Структурное строение планетарного механизма

Механизм состоит из ведущего звена 1 (центрального колеса, рисунок 4,а) и двух групп нулевой подвижности: двухзвенной цепи (рисунок 4,б) с двумя парами  $p_5$  и двумя парами  $p_4$  и четырехзвенной цепи (рисунок 4,в), в которой содержится по четыре пары  $p_5$  и  $p_4$ , при этом четырехзвенная цепь не может быть разделена на более простые группы.

#### Библиографический список

1. Патент №2397384. Уравновешенный самоустанавливающийся планетарный механизм / Дворников Л.Т., Бондаренко В.С., Дмитриев В.В. – №2009122331; приоритет от 10.06.2009; опубл. 20.08.2010; Бюл. №23.
2. Патент №2419006. Самоустанавливающийся планетарный механизм / Дворников Л.Т., Дмитриев В.В., Андреева Я.А. – №2010108197; приоритет от 04.03.2010; опубл. 20.05.2011, Бюл. №14.

## РАЗВИТИЕ ПОДХОДА М.ГРЮБЛЕРА К СОЗДАНИЮ МЕХАНИЗМОВ РАЗЛИЧНЫХ СЕМЕЙСТВ

**Федоров А.И.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В 1883г. вышла в свет работа [1] М. Грюблера, посвященная методу создания плоских шарнирных рычажных механизмов. Этот метод заключается в построении замкнутых кинематических цепей, отличающихся тем, что они не имеют свободных выходов, соединенных с неподвижным звеном. Покажем такую цепь на рисунке 1.

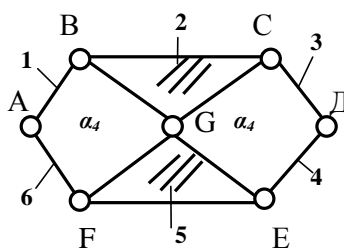


Рисунок 1 – Шестизвенная кинематическая цепь Грюблера

Подвижность таких цепей определяется по формуле

$$3n - 2p_5 = 4, \quad (1)$$

где  $n$  – число звеньев цепи,

$p_5$  – число шарниров,

4 – подвижность цепи.

Цифра четыре в этой формуле говорит о том, что такая цепь может свободно двигаться в плоскости и иметь одно относительное движение звеньев.

Помимо формулы (1) Грюблер вывел еще две формулы, определяющие общее число кинематических пар – шарниров  $p_5$

$$2p_5 = 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + \dots, \quad (2)$$

и общее число звеньев  $n$

$$n = n_2 + n_3 + n_4 + \dots, \quad (3)$$

где  $n_2$ ,  $n_3$ ,  $n_4$  и т.д. – двухпарные, трехпарные, четырехпарные и т.д. звенья, показанные на рисунке 2



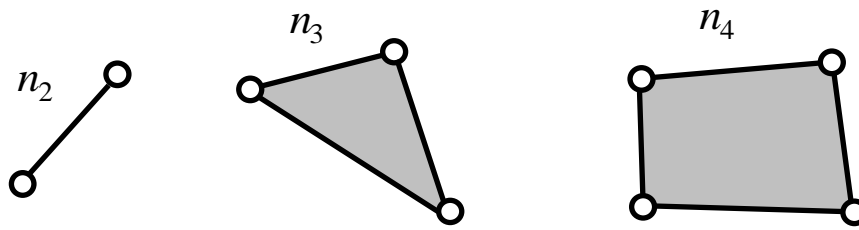


Рисунок 2 – Д вухпарные  $n_2$ , трехпарные  $n_3$ , четырехпарные звенья  $n_4$ .

Из кинематической цепи, приведенной на рисунке 1, путем последовательного останова каждого из звеньев цепи можно получать механизмы. Покажем на рисунке 3 механизм, полученный из цепи Грюблера.

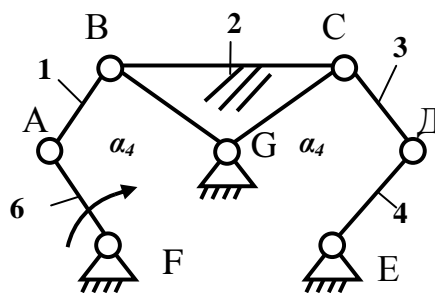


Рисунок 3 – Шестизвенный механизм

Грюблером в [1] рассматривались лишь плоские шарнирные цепи.

В работе [2] был показан метод структурного синтеза замкнутых цепей Грюблера с кинематическими парами пятого  $p_5$  и четвертого  $p_4$  классов, из которых могут быть образованы механизмы с высшими кинематическими парами. Формула подвижности Грюблера (1) в этом случае приобретает вид

$$3n - 2p_5 - p_4 = 4, \quad (4)$$

а общее число кинематических пар при этом определится как

$$2(p_5 + p_4) = 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + \dots \quad (5)$$

Приведем для примера трехзвенную цепь, удовлетворяющую условиям (4) и (5) (рисунок 4), и содержащую в своем составе пары  $p_5$  и  $p_4$ .

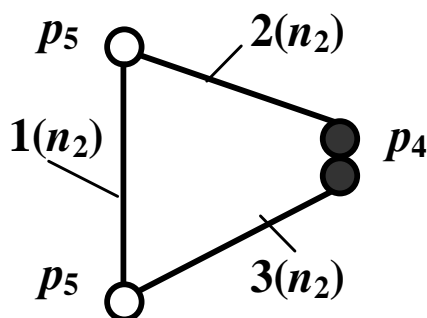


Рисунок 4 – Трехзвенная цепь Грюблера

Из такой цепи может быть создан, например, кулачковый механизм (рисунок 5).

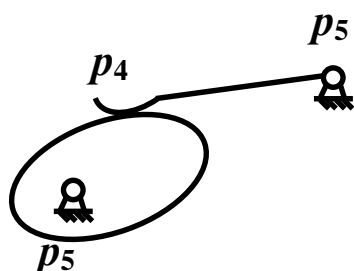


Рисунок 5 – Трехзвенный механизм с высшей парой  $p_4$

Обратимся к механизмам четвертого семейства, для которых формула подвижности имеет вид

$$2n - p_5 = 3. \quad (6)$$

При  $n=3$ , система уравнений (6), (2) и (3) дает решение в виде  $p_5 = 3$ ,  $n_2 = 3$ ,  $n_3 = 0$ ,  $n_4 = 0$ . Такая цепь показана на рисунке 6,а.

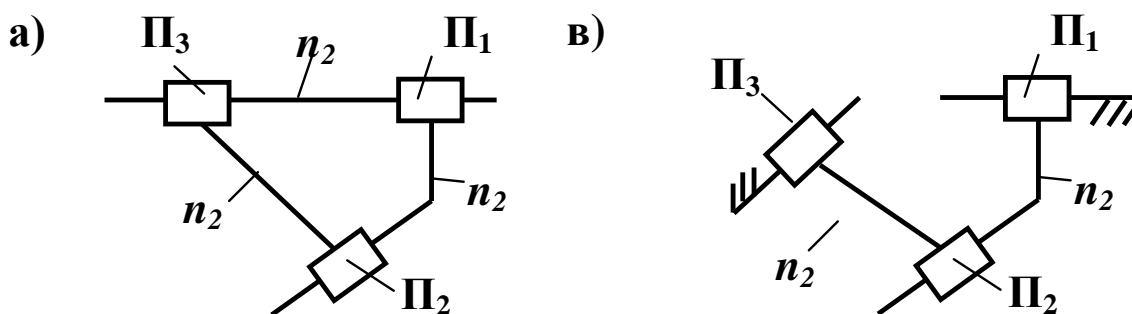


Рисунок 6 – а) трехзвенная цепь Грюблера; в) трехзвенный механизм

Путем останова любого из звеньев цепи получим механизм, показанный на рисунке 6в.

При синтезе кинематических цепей второго, первого и нулевого семейств могут быть использованы системы Грюблера соответственно в виде

$$\begin{cases} 4n - 3p_5 - 2p_4 - p_3 = 5, \\ 2(p_5 + p_4 + p_3) = 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + \dots, \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} 5n - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3 - p_2 = 6, \\ 2(p_5 + p_4 + p_3 + p_2) = 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + \dots, \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 = 7, \\ 2(p_5 + p_4 + p_3 + p_2) = 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + \dots \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, метод Грюблера по синтезу структур механизмов может быть развит на все известные семейства механизмов.

#### Библиографический список

1. Grübler M.F. Allgemeine Eigenschaften der Zwangläufigen ebenen Kinematischen Ketten. – *Civilingenieur*, Berlin, 1883, №29. s167–200.

2. Дворников Л.Т. О возможности использования метода Грюблера для поиска структур плоских механизмов с высшими парами / Л.Т. Дворников, А.И. Федоров // *Материалы восемнадцатой научно-практической конференции по проблемам механики и машиностроения*. Под редакцией профессора Дворников Л.Т. и профессора Живаго Э.Я. Новокузнецк, СибГИУ, 2006. – С. 76-85.

УДК 621.01

### **К ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ШЕСТИЗВЕННОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВИНТОВОГО МЕХАНИЗМА С ТРЕХПАРНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ**

**Гнездилов В.К.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Поставив задачу о структурном синтезе шестизвального винтового механизма с трехпарными звеньями, обратимся к построению графов механизмов четвертого семейства. Под графом понимается графический аналог механизма, в котором точки графа представляются алогомами звеньев, а линии, соединяющие точки-звенья, являются аналогами кинематических пар. Граф может быть даже более информативным, чем схематический рисунок механизма. В нем явно выделяются замкнутые изменяемые контуры и числа их сторон, количество выходов на стойку, количество звеньев, соединяющихся между собой в кинематические пары. Кроме того граф одновременно является кинематической схемой механизма в осях  $\varphi r$ - $S$ , причем точка, отображающая стойку, располагается в начале координат графа.

Чтобы построить граф для шестизвального механизма с трехпарными звеньями, необходимо расположить шесть точек на плоскости и соединить их между собой девятью линиями, таким образом, чтобы на каждую точку замыкалось по три линии. Такой граф показан на рисунке 1.

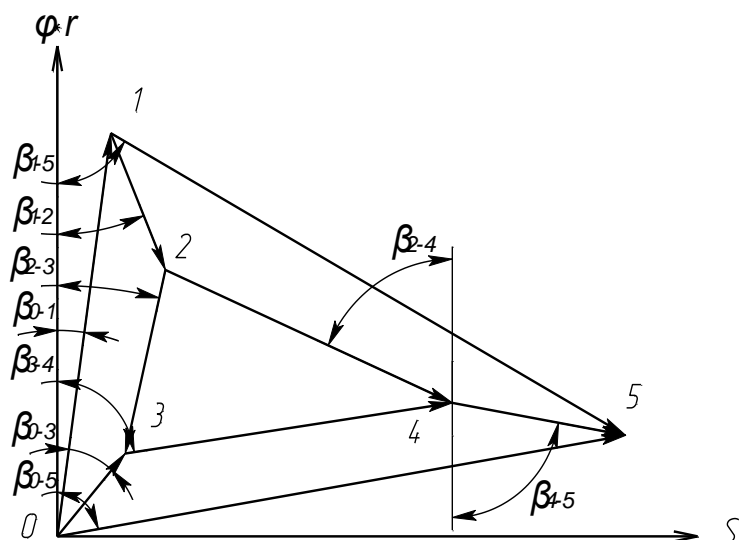


Рисунок 1 – Граф шестизвенного винтового механизма с трехпарными звеньями

Шестизвенный механизм, в котором все звенья выполнены трехпарными (т.е. с тремя винтовыми кинематическими парами каждое), построенный по графу (рисунок 1) приведен на рисунке 2.

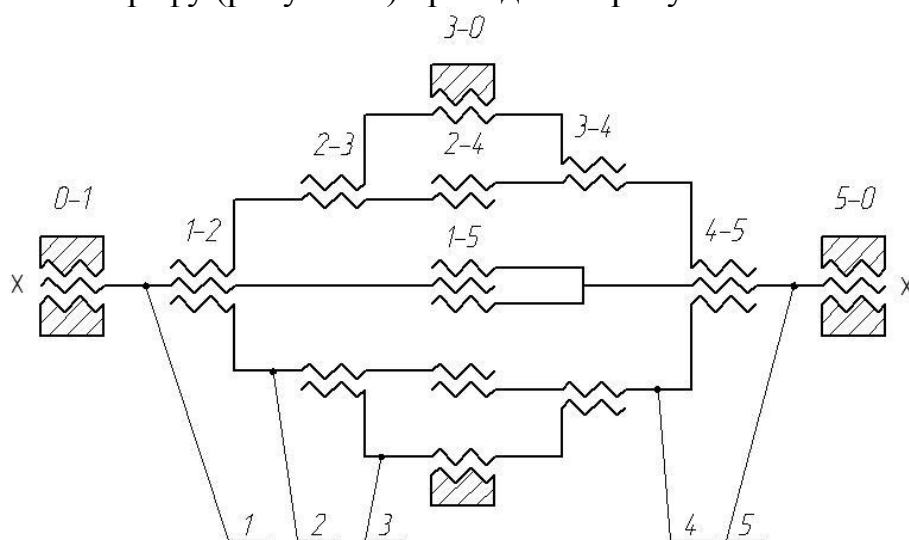


Рисунок 2 – Схема шестизвенного винтового механизма с трехпарными звеньями

Механизм состоит из входного звена 1, трехпарных звеньев 2, 3, 4, выходного звена 5 и стойки 0. Звенья 1 и 5 образуют со стойкой кинематические пары (0-1), (0-5) и соединяются между собой парой (1-5); звенья 2 и 4 входят со звеньями 1 и 5 в пары (1-2), (4-5) и соединяются между собой парой (2-4); звено 3 входит со звеньями 2, 4 в пары (2-3), (3-4) и соединяется со стойкой парой (3-0). Буквами хх обозначена геометрическая ось механизма, относительно которой осуществляются движения всех подвижных звеньев механизма, а именно повороты звеньев на углы  $\varphi_1 - \varphi_5$  и смещение звеньев вдоль оси хх на  $S_1 - S_5$ . Линиями 01, 05, 15, 12, 45, 24, 23,

34 и 30 на графе (рисунок 1) обозначены углы наклона винтовых линий в кинематических парах, соответственно  $\beta_{01}, \beta_{05}, \beta_{15}, \beta_{12}, \beta_{45}, \beta_{24}, \beta_{23}, \beta_{34}$  и  $\beta_{30}$ .

Работает механизм следующим образом. При задании первому звену некоторого перемещения, через пары (1-5) и (0-5) получает движение звено 5. За счет того что звено 1 и звено 5 смещаются, звенья 2 и 4, соединенные между собой в пару (2-4), получают определенное движение, которое так же задается звеном 3, входящим в пару (3-0) со стойкой 0, и соединенное со звеньями 2 и 4 парами (2-3) и (3-4) соответственно.

Показанный шестизвенный винтовой механизм относится к механизмам четвертого семейства по Артоболовскому И.И., подвижность которых определяется формулой Добровольского В.В.

$$W = 2n - p_5,$$

где  $n$  – число подвижных звеньев, а  $p_5$  – число одноподвижных кинематических пар.

При наличии пяти подвижных звеньев 1,2,3,4 и 5 и девяти кинематических пар 0-1, 0-5, 1-5, 1-2, 4-5, 2-4, 2-3, 3-4 и 3-0 подвижность механизма  $W=1$ .

При изменении углов наклона сторон графа приведенного на рисунке 1, и расстояния между обозначенными точками, можно обеспечить для механизма (рисунок 2) различные законы движения.

УДК 621.01

## ОБРАЗОВАНИЕ НЕАССУРОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ВТОРОГО СЕМЕЙСТВА

**Фомин А.С.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Известно, что по теории Л.В. Ассура механизмы любой сложности образуются путем присоединения групп нулевой подвижности ( $W=0$ ) к ведущему звену, выполненному в виде простого кривошипа или ползуна, соединенных со стойкой через кинематические пары пятого класса. Неассуровыми механизмами являются такие, ведущее звено в которых соединяется со стойкой через кинематические пары других классов, начиная с пар четвертого класса. К изучению таких механизмов исследователи обратились сравнительно недавно. Рассмотрим существование неассуровых механизмов на примере механизмов второго семейства, которые описываются структурной формулой

$$W_2 = 4n - 3p_5 - 2p_4 - p_3. \quad (1)$$

Все механизмы этого семейства в зависимости от вида кинематических пар, применяемых в них  $(p_5, p_4, p_3)$ , могут быть разделены на подсемейства [1, стр. 57]. Всего таких подсемейств семь, из которых: нулевое, первое, второе и третье являются ассуровыми, т.к. в них возможно создание ассуровых механизмов, а четвертое, пятое и шестое подсемейства относятся к неассуровым.

Обратимся к неассуровым подсемействам механизмов второго семейства. В четвертом подсемействе механизмы образуются парами третьего  $p_3$  и четвертого  $p_4$  классов

$$W_{2(4)} = 4n - 2p_4 - p_3. \quad (2)$$

Простейшим механизмом в этом подсемействе будет однозвенный, т.к. вводя  $W_{2(4)}=1$  в формулу (2), получим зависимость  $4n-1=2p_4+p_3$ . При  $n=1$   $2p_4+p_3=3$ ,

откуда единственным решением будет  $p_4=1, p_3=1$ . Если  $n=2$ , то из уравнения (2) определим, что  $2p_4+p_3=7$ . Все искомые параметры могут быть определены. Существование неассуровых механизмов с числом звеньев  $n$  более 2 также является возможным в четвертом подсемействе.

Пятое подсемейство организуется исключительно двухподвижными парами  $p_4$

$$W_{2(5)} = 4n - 2p_4. \quad (3)$$

Это подсемейство интересно тем, что в нем нельзя создать механизм ( $W_{2(5)}=1$ ), потому что в формуле (3) коэффициенты перед  $n$  и  $p_4$  четные.

Механизмы шестого подсемейства организуются только парами  $p_3$

$$W_{2(6)} = 4n - p_3. \quad (4)$$

При  $W_{2(6)}=1$  из формулы (4) получим, что  $n = \frac{p_3 + 1}{4}$ . Тогда минимальным значением  $p_3$  будет 3, а минимальным для  $n$  будет 1.

Воспользуемся универсальной структурной системой [2, стр. 38], записанной для механизмов шестого подсемейства в виде

$$\begin{cases} p = \tau + (\tau - 1)n_{\tau-1} + \dots + in_i + \dots + 2n_2 + n_1, \\ n = 1 + n_{\tau-1} + \dots + n_i + \dots + n_2 + n_1, \\ W_{2(6)} = 4n - p_3. \end{cases} \quad (5)$$

В третье уравнение системы (5) введем первое и второе уравнения

$$\begin{aligned} W_{2(6)} = 4n - p_3 &= 4[1 + n_{\tau-1} + \dots + n_i + \dots + n_2 + n_1] - [\tau + (\tau - 1)n_{\tau-1} + \dots + in_i + \dots + 2n_2 + n_1] = \\ &= (4 - \tau) + (5 - \tau)n_{\tau-1} + \dots + (4 - i)n_i + \dots + 2n_2 + 3n_1. \end{aligned}$$

Из найденной зависимости определим, что минимальное значение базисного звена  $\tau_{min}$  выражается через  $n$  условием

$$\tau_{min} = n + 2. \quad (6)$$

Число различных базисных звеньев для механизмов с определенным числом звеньев  $n$  обозначим через  $\tau_i$  и определим по формуле

$$\tau_i = n + (n - 1). \quad (7)$$

Например, для однозвенных механизмов ( $n=1$ )  $\tau_{min}=3$ , т.е. минимальным по сложности базисным звеном  $\tau$  будет треугольное; из уравнения (7)  $\tau_i=1$ , т.е. всего различных значений при  $\tau$  для  $n=1$  будет одно, а именно  $\tau=3$ .

Запишем в таблицу соотношение чисел звеньев  $n$  от  $\tau_{min}$  и  $\tau_i$ .

Таблица 1 – Соотношение числа звеньев  $n$  от  $\tau_{min}$  и  $\tau_i$

| $n$   | $\tau_{min}$ | $\tau_i$ |
|-------|--------------|----------|
| 1     | 3            | 1        |
| 2     | 4            | 3        |
| 3     | 5            | 5        |
| 4     | 6            | 7        |
| 5     | 7            | 9        |
| ..... | .....        | .....    |
| 12    | 14           | 22       |
| ..... | .....        | .....    |

Таким образом, задавая значение  $n$  – числа звеньев, из системы (5) и уравнений (6) и (7) все необходимые параметры для синтеза неассуровых механизмов шестого подсемейства могут быть определены.

#### Библиографический список

1. Дворников Л.Т. Механизмы второго семейства. Их особенности и методы структурного синтеза / Материалы XVIII научно-практической конференции по проблемам машиностроения и механики машин. – Новокузнецк: СибГИУ. 2008. – с. 52-64.
2. Дворников Л.Т. Начала теории структуры механизмов / Л.Т. Дворников. Новокузнецк. – 1994. – 85 с.

## ОБ ОДНОЙ ИЗ ПРОБЛЕМ МНОГОСАТЕЛЛИТНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ

Садиева А.Э., Дворникова Е.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.

*Сибирский государственный индустриальный университет*

*г. Новокузнецк*

*Киргизский государственный технический университет им. И.И.Раззакова*

*г. Бишкек*

Как правило, при исследовании структуры, кинематики и динамики планетарных передач исходят из предположения о том, что в них используется единственный сателлит.

В действительности, с одним сателлитом планетарные передачи практически не создаются. Это определяется тем, что инерционные силы от сателлита могут быть естественно уравновешены лишь введением дополнительных сателлитов. Реально дополнительных сателлитов устанавливают от одного до пяти, иногда и более. Вопрос о том, какое влияние на подвижность планетарных передач оказывают дополнительные сателлиты, пока глубоко не исследовался. Обратимся к нему.

Рассмотрим простейшую (рисунок 1) планетарную  $AI$ -передачу по терминологии Н.Ф.Руденко [1].

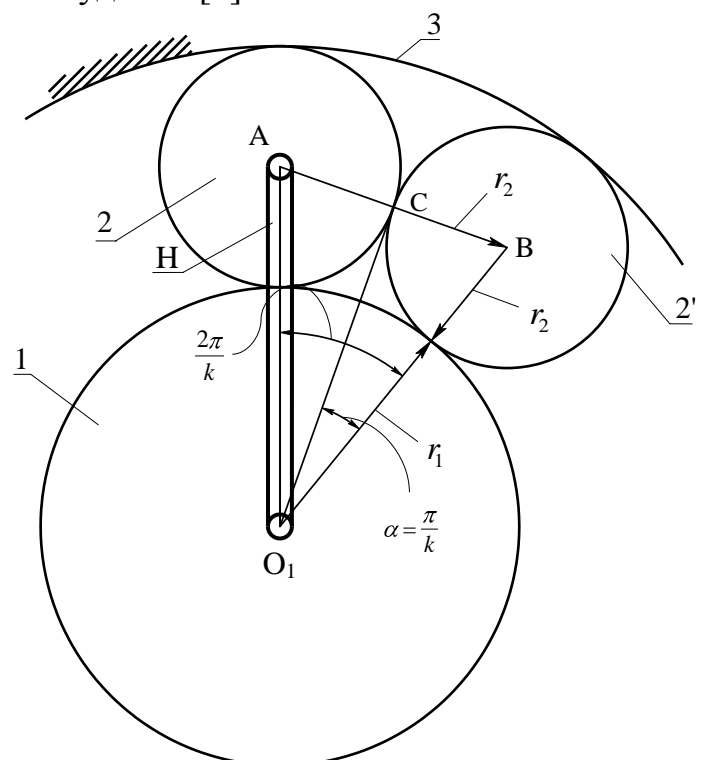


Рисунок 1 – Схема планетарной передачи

Эта передача состоит из центрального колеса 1, сателлита 2, водила Н



и неподвижного венца 3. Т.е. подвижных звеньев в передаче три (3), вращательных кинематических пар  $p_5$  также три (3), а пар  $p_4$  две (2). Учтем это. Числа зубьев колес соответственно равны  $z_1, z_2$  и  $z_3$ . Помимо сателлита 2 в конструкцию механизма вводятся дополнительные сателлиты 2', 2'' и т.д., которые устанавливаются так, чтобы зубья сателлитов не мешали движению рядом находящихся, т.к. они относительно друг друга вращаются в противоположном направлении.

Число дополнительных сателлитов обозначим как  $n_{c+}$ . Подвижность зубчатых передач, в том числе планетарных, описывается развернутой формулой Чебышева П.Л., имеющей вид

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (1)$$

где  $n$  - число подвижных звеньев,  $p_5$  - число пар пятого класса - шарниров,  $p_4$  - число высших - точечных пар.

При добавлении в передачу сателлитов сверх одного, т.е.  $n_{c+}$ , общее число звеньев станет равным  $n=3+n_{c+}$ .

Дополнительные сателлиты требуют введения дополнительного числа шарниров - пар  $p_5$ , равного  $n_{c+}$ , т.е. их становится  $(3+n_{c+})$  и пар четвертого класса  $2n_{c+}$ , т.е.  $(2+2n_{c+})$ .

Формула (1), в этом случае, получит вид

$$W = 3(3+n_{c+}) - 2(3+n_{c+}) - (2+2n_{c+}),$$

откуда следует, что

$$W = 1 - n_{c+}. \quad (2)$$

Введение уже одного дополнительного сателлита приводит к тому, что механизм становится неподвижным, а при введении двух дополнительных сателлитов превращается в систему статически неопределимую.

Зададимся далее вопросом о возможном максимальном числе сателлитов, которые можно установить в  $AI$ -передачу (рисунок 1). В первом приближении будем считать сателлиты гладкими, т.е. без нарезных на них зубьев. Пусть таких сателлитов установлено через равные расстояния друг от друга  $k$  штук. Тогда угол между осями сателлитов, исходящих из оси центрального колеса, т.е. угол  $A_1OB$ , будет равен  $\frac{2\pi}{k}$ .

Рассмотрим треугольник  $o_1CB$ , в нем катет  $CB=r_2$ , гипотенуза  $o_1B=r_1+r_2$ , а угол  $Co_1B=\frac{\pi}{k}$ , тогда

$$\sin \frac{\pi}{k} = \frac{r_2}{r_1+r_2},$$

откуда, с учетом того, что радиус колес  $r = \frac{mz}{2}$ , а модуль  $m$

планетарной передачи для всех колес одинаков,

$$k = \frac{\pi}{\arcsin \frac{z_2}{z_1 + z_2}}. \quad (3)$$

Полученная зависимость позволяет решать задачи определения числа зубьев колес по заданному числу сателлитов  $k$  и нахождение  $k$  по заданным числам зубьев колес. Для примера решим задачу о числах зубьев колес при условии, что устанавливаются в передаче 22 сателлита. Если принять за наименьшее возможное число зубьев сателлита  $z_2=10$  (то практически реально), то  $z_2$  окажется равным  $z_2=61$ , что также вполне реально. Таким образом, передача с 22мя сателлитами может быть создана и технически собрана. Однако ее подвижность, найденная по формуле (2), окажется равной  $W= -21$ , т.е. при необходимости  $W=1$ . передача окажется двадцать раз статически неопределимой.

Рассмотренное выше позволяет поставить важный вопрос – о возможности превращения такой передачи в статически определимую.

#### Библиографический список

1. Руденко, Н.Ф. Планетарные передачи / Н.Ф. Руденко. – М.; Л.: Машгиз, 1947. – 756 с.

УДК 621.01

## ОБ ОБЩЕМ СЛУЧАЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УДАРНЫХ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

**Нагибин А.В.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Ударный кулачковый механизм состоит из следующих элементов: плоский или пространственный кулачок, толкатель-боек с закрепленным на нем роликом, упругий элемент, выходное звено и стойка или корпус. Как и любой другой механизм, ударный кулачковый механизм служит для преобразования движения ведущего звена в определенный вид механического движения ведомого звена. Ведущим звеном обычно является кулачок, который совершает вращательное или поступательное движение и которое преобразуется во вращательное, поступательное или вращательно-поступательное движение ведомого звена — толкателя-бойка. Подвижность звеньев механизма может изменяться в зависимости от величины внешних сил сопротивления, приложенных к выходному звену, а сам механизм при этом может быть плоским или пространственным в зависимости от видов

движений ведущего и ведомого звеньев [1].

Отличительной особенностью кулачка в ударном кулачковом механизме является то, что он не имеет плавного участка опускания толкателя-бойка и, как это уже было отмечено в [2] и [3], может быть выполнен с несколькими участками взвода толкателя-бойка. Таким образом, кулачок в общем случае может содержать  $n$  участков взвода толкателя-бойка с величиной взвода на каждом из них  $h_n$ . Если  $n=1$ , то в этом случае кулачок будет иметь один участок взвода толкателя-бойка и будет возможно только одно возвратно-поступательное движение ведомого звена за один оборот кулачка. Если же количество участков взвода  $n \geq 2$ , то соответственно будут возможны  $n \geq 2$  возвратно-поступательных движений ведомого звена за один оборот кулачка. То есть количество возвратно-поступательных движений ведомого звена за один оборот кулачка равно числу участков взвода  $n$ , а ударный кулачковый механизм с одним участком взвода толкателя-бойка является частным случаем ударного кулачкового механизма с кулачком, содержащим  $n$  участков взвода.

Как известно, произведение энергии единичного удара  $E_n$  на частоту ударов  $\nu$  называется ударной мощностью  $P=E_n \cdot \nu$ . Частота ударов может быть вычислена как  $\nu = \frac{n}{T}$ , где  $T$  — время одного оборота кулачка, тогда формула ударной мощности может быть записана как

$$P = \frac{E_n \cdot n}{T}. \quad (1)$$

Домножив левую и правую часть выражения для ударной мощности (1) на время одного оборота  $T$ , получим формулу для энергии передаваемой на обрабатываемую среду за один оборот кулачка для случая если энергия единичного удара на каждом участке взвода одинакова, то есть если  $E_1 = E_2 = \dots = E_{n-1} = E_n$

$$P \cdot T = E = E_n \cdot n. \quad (2)$$

Если же энергия единичного удара на каждом из  $n$  участков взвода различна и равна  $E_i$ , то формула (2) будет иметь вид:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i. \quad (3)$$

Из формул (2) и (3) следует, что энергия  $E$  может быть передана на обрабатываемую среду либо сразу и полностью, при  $n=1$ , либо порционно, равными или неравными порциями, при  $n \geq 2$ .

Ясно, что размеры, как кулачка так и всего ударного кулачкового механизма в целом, будут зависеть и от количества участков взвода и от величины взвода толкателя-бойка  $h_n$  [4]. С другой стороны энергия единичного удара  $E_n$  также будет зависеть от величины взвода толкателя-бойка  $h_n$ .

Когда необходимо, чтобы механизм работал в ударном режиме, то величина  $h_n$  должна быть обеспечена достаточной для разрушения хрупкой среды, а количество ударов за один оборот кулачка, то есть количество участков взвода, может быть уменьшено вплоть до  $n=1$  для сохранения заданных габаритов механизма. Когда же необходимо, чтобы механизм работал в вибрационном режиме, то может быть увеличена частота возвратно-поступательных движений толкателя за счет снижения величины  $h_n$  на каждом из участков взвода и увеличения числа  $n$  самих участков взвода. Таким образом соотношение между  $E_n$  и  $n$  или  $h_n$  и  $n$  определяет характер взаимодействия выходного звена с обрабатываемой средой и поэтому возникает проблема обоснования количества участков взвода  $n$  и величины взвода толкателя-бойка  $h_n$  в зависимости от того в каком режиме должен работать механизм: в ударном или вибрационном. А сам механизм может использоваться в машинах ударного действия и в машинах вибрационного действия.

#### Библиографический список

1. Ярунов А.М. Кулачковые механизмы переменной структуры / А.М. Ярунов. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1986. — 160 с.
2. Нагибин А.В. Обоснование схемы многоударного кулачкового механизма / Нагибин А.В. // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией Л.П. Мышляева; СибГИУ. — Новокузнецк, 2009. — Вып. 13. — Ч. III. Технические науки. — С. 325-328.
3. Пат. 2362014 РФ, МПК E21C 37/00, E21B 6/00. Многоударный кулачковый механизм для бурильных машин / Л.Т. Дворников, А.В. Нагибин. — № 2007142096/03; заявл. 13.11.2007; опубл. 20.07.2009. — 4 с.; 2 л. ил.
4. Левитский Н.И. Кулачковые механизмы / Н.И. Левитский. — М.: Машиностроение, 1964. — 287 с.

УДК 622.28

### К ВОПРОСУ ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СЕКЦИЙ ШАХТНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

**Князев А.С.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Дворников Л.Т.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

История механизированных крепей начинается с 1932 года, первая крепь была разработана И.А. Журавлёвым. Применение гидравлического оборудования, а именно гидравлических стоек и гидродомкратов началось в

1941 году. Великая Отечественная война прервала работы по созданию и исследованию механизированных крепей[1]. Дальнейшее исследование началось только в 1946 году.

С 1932 по настоящее время, механизированные крепи кардинально изменились, также изменилась методика создания и методы исследования крепей. Современные горные очистные комплексы содержат в своем составе различные конструкции машин и механизмов, используемые для добычи углей. Механизированные крепи, удерживающие кровлю от разрушения – являются неотъемлемой их частью. Основным элементом цепей являются распорные гидродомкраты, которые устанавливаются на раму комбайна через шарнир. Движение секции механизированной крепи происходит за счет подачи рабочей жидкости под поршневую полость гидродомкрата. При этом сам гидродомкрат получает движение относительно рамы в шарнире. Такие механизмы принято называть механизмами с подвижными приводами (МПП). В механизированных крепях, подвижным приводом является гидродомкрат. Его подвижность создает ряд сложностей при исследовании кинематики и кинетостатики механизированных крепей. Основной сложностью является то обстоятельство, что на выходе гидродомкрата поршень совершает сложное движение: поступательное относительно гидроцилиндра и вращательное относительно неподвижной опоры. В связи с этим, «прямым» методом решить вопрос кинематики не возможно, приходится изыскивать иные методы.

Исследование конструкции может существенно упроститься, если гидродомкрат на раме установить стационарно, т.е. без его относительной подвижности. В этом случае структура крепей получит принципиальное изменение. Примером такой схемы может послужить схема секции механизированной крепи [2], показанная на рисунке 1. Устройство состоит из цилиндрической опоры 1а цилиндра 1, разрезной втулки 5а опоры 5, стягивающего болта 6, т.е. клеммового соединения, фиксирующего цилиндр 1 распорного гидродомкрата относительно опоры, неподвижного цилиндра 1 распорного гидродомкрата, поршня со штоком 2, звена 3 поддержки и звена 4 ограждения, т.е. в конструкции содержится всего 3 подвижных звена.

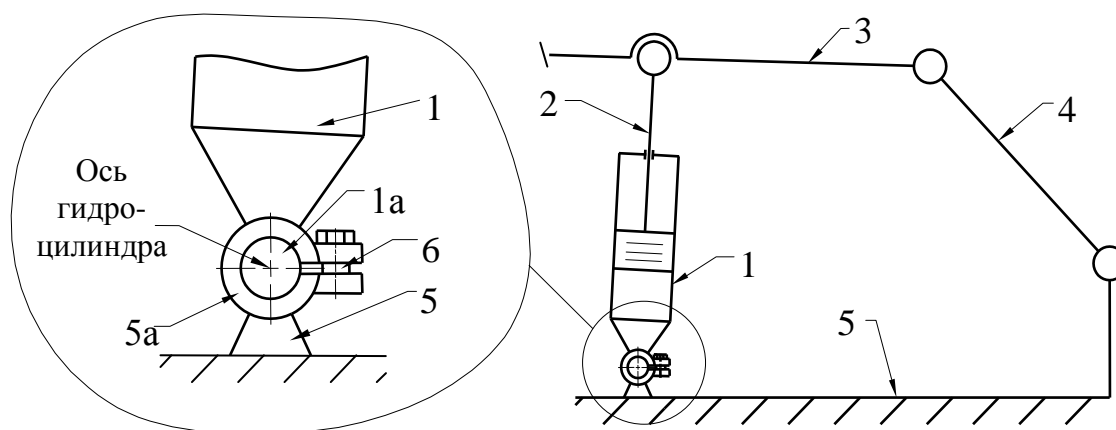


Рисунок 1 – Схема секции механизированной крепи по патенту №99823

Работает устройство следующим образом: в распорный гидродомкрат подается жидкость под давлением. Воздействуя на поршень штока 2, жидкость приводит в движение звено 3 поддержки. В свою очередь, звено 3 поддержки передает движение звену 4 ограждения.

При необходимости перестановки гидродомкрата, под различными углами по отношению к опоре, достаточно ослабить соединение гидродомкрата с опорой, повернуть гидродомкрат относительно оси клемм до необходимого положения и вновь зафиксировать соединение. Во время работы секции механизированной крепи, гидродомкрат фиксируется относительно опоры.

#### Библиографический список

1. Хорин В.Н. Расчет и конструирование механизированных крепей. М.: Недра, 1988. – 255 с.
2. Патент №99823 Секция механизированной крепи / Дворников Л.Т., Князев А.С.(РФ) – приоритет от 28.06.2010, опубл. 27.11.2010, Бюл. №33.

УДК 622.64

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ШАХТНЫХ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

**Варнава А.В.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Жуков И.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Одним из путей интенсификации и концентрации очистных работ является создание поточной технологии, при которой комплекс горных машин позволяет осуществить непрерывность процессов выпуска, доставки, погрузки, транспортирования и подъема полезных ископаемых. Применение конвейерного транспорта при подземной отработке месторождений полезных ископаемых позволяет сократить объем проходческих работ, а также сроки подготовки и отработки блоков [1].

Забойный скребковый конвейер – это транспортирующее устройство непрерывного действия, в котором перемещение груза осуществляется по неподвижному желобу – *рештaku* с помощью скребков, закрепленных на одной или нескольких тяговых цепях. Впервые скребковые конвейеры внедрены в 1935-36 в Кузнецком и Подмосковном угольных бассейнах для доставки угля из очистных забоев. В настоящее время одними из основных производителей скребковых конвейеров являются: ОАО «Анжерский машиностроительный завод», ООО «Юргинский машзавод», компания «УгольМашГрупп», «Vicusrus».

Скребковый конвейер (рисунок 1) предназначен для транспортировки угля и горной массы вдоль лавы в составе очистных комплексов. Став

конвейера собирают из отдельных секций (рештаков) длиной 1-2,5м, представляющих собой штампованные, чаще сварные желоба, состоящие из двух профильных боковин и днища, разделяющего верхние и нижние ветви тягового органа.

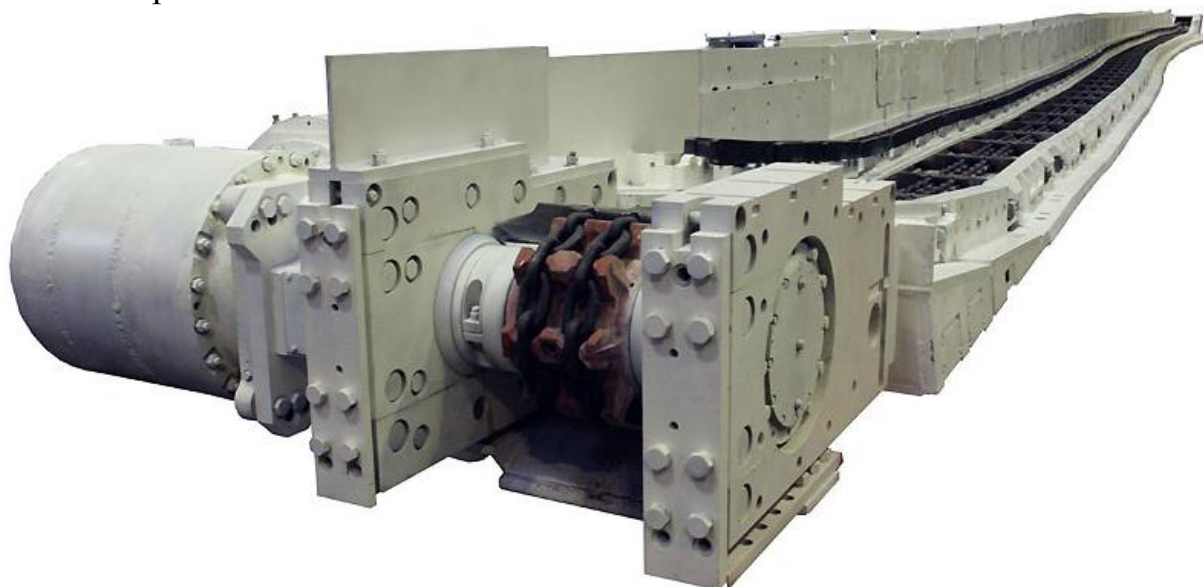


Рисунок 1 – Конвейер скребковый

Рештак (рисунок 2) образуется из двух боковин специального профиля и приваренного к ним донного листа. Специальный профиль образует контр-направляющие для цепей и ручей, по которому они перемещаются.



Рисунок 2 – Секция става

В разборном скребковом конвейере рештаки крепятся друг с другом с помощью легкоразборных соединений, а в передвижном – с помощью специальных стержней, позволяющих рештакам изгибаться относительно друг друга в пределах  $\pm 3^\circ$ . Приводная станция скребковых конвейеров состоит из ведущего вала со звёздочками, редуктора, предохранительной муфты, и асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором [2].

Почти на всех скребковых забойных конвейерах используют круглозвенные цепи. Ввиду неравномерности движения, в цепях возникают динамические нагрузки, которые приводят к их усталостному разрушению. Скребки шахтных конвейеров изготавливают массивными, литыми, износостойкими.

Достоинства скребковых конвейеров состоят в том, что они позволяют обеспечить высокую производительность, высокую прочность и способность выдерживать большие ударные нагрузки. Рештачный став должен быть прочным и жёстким, т.к. помимо нагрузок, вызванных процессом транспортирования, он испытывает нагрузки от использования в качестве опоры комбайна или струга. Кроме того, рештаки испытывают нагрузки от навесного оборудования.

Повышение качества создаваемого механического оборудования и конструкций необходимо связывать, прежде всего, с уменьшением их веса и стоимости, повышением надежности и улучшением ряда характеристик. В настоящее время актуальна проблема сочетания в процессе проектирования двух взаимоисключающих тенденций: экономии материала с одной стороны и обеспечения требуемых прочностных характеристик конструкций с другой стороны. Все это можно обеспечить за счет использования компьютерных технологий. Сегодня нельзя создать качественное, надежное и конкурентоспособное оборудование без всестороннего инженерного анализа проектируемых объектов с помощью современных программных средств и принятия на его основе грамотных конструктивных решений.

При разработке любой конструкции перед проектировщиком стоит задача оценки ее напряженно-деформированного состояния. Для этого нужно знать распределение напряжений в элементах проектируемой конструкции, а также величины перемещений отдельных ее точек, как при статическом характере внешнего нагружения, так и в условиях действия нагрузок, изменяющихся во времени.

Таким образом, становится актуальной проблема совершенствования конструкции рештачного става забойного конвейера, решение которой требует постановки и тщательного исследования следующих важных задач:

- разработка методики создания физической модели рештачной секции става в соответствии с реальными физико-механическими свойствами используемых материалов и типов соединений отдельных деталей става;
- обоснование режимов работы конвейера с последующим созданием динамической модели нагруженного состояния секции става;
- разработка расчетной методики анализа напряженно-деформированного состояния рештака в условиях реальной практической эксплуатации;
- анализ конструктивных форм применяемых в настоящее время скребковых конвейеров в соответствии с расчетной методикой;
- разработка рекомендаций предприятиям-производителям по



вопросу совершенствования конструкций конвейеров, позволяющих увеличивать срок их эксплуатации.

#### Библиографический список

1. Пухов Ю.С. Рудничный транспорт: учеб. для техникумов / Ю.С. Пухов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1991. – 364 с.
2. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия: научное пособие для вузов. Под ред. В.А. Будишевского / А.И. Барышев, В.А. Будишевский, Н.А. Скляр, А.А. Сулима, А.М. Ткачук. – Донецк, 2005. – 689 с.

УДК 629.7.085.2

## **МЕХАНИЗМЫ ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Аленченков Г.С.**

**Научный руководитель: д.т.н., доцент Пушкарев А.Э.**

*Ижевский государственный технический университет  
г. Ижевск*

В современном мире, начиная с XX века, начала свое развитие беспилотная авиация. Невоенные беспилотные летательные аппараты, применяемые в таких сферах, как дистанционное зондирование земли, контроль коммуникаций и границ, ретрансляция сигналов, снижают себестоимость услуг на порядок и даже больше по сравнению с традиционными космическими или авиационными системами. Прогрессу этих систем способствует миниатюризация и удешевление электронных компонентов бортового оборудования. При этом масса беспилотного летательного аппарата может составлять от 3 до 200 кг, скорость полета – до 300 км/ч, а дальность полета до 200 км. Именно низкая себестоимость по сравнению с традиционными авиационными системами позволила беспилотной авиации выйти на рынок и прочно занять свою нишу.

Для запуска беспилотных или дистанционно пилотируемых летательных аппаратов самолетного типа с неподготовленных площадок или при отсутствии специально подготовленной взлетной полосы используют катапульты различных конструкций. Катапульта должна обеспечить надежный запуск летательного аппарата, при этом не должна оказывать каких-либо отрицательных влияний как на дорогостоящую аппаратуру, так и на конструкцию летательного аппарата.

При этом и производство запуска летательного аппарата, и конструкция стартового устройства должны исключать влияние человеческого фактора как на возможность получения травм оператором, так и на вероятность повреждения запускаемого аппарата.

Для выбора наиболее рациональной конструкции стартового

устройства, а также его узлов и механизмов, воспользуемся методами функционально-структурного анализа, сущность которого заключается в рассмотрении объекта не в его конкретной форме, а в совокупности функций, которые он должен выполнять.

На рис. 1 и рис. 2 показаны структурная и функционально-структурная модели стартового устройства беспилотных летательных аппаратов.

Как видно из структурной модели, в качестве основных узлов стартового устройства можно выделить: привод, корпус, каретку и спусковой механизм. Второстепенными механизмами являются: механизмы управления, опоры, тормоз каретки, амортизаторы, предохранители и т.д.

На рис. 3 показан типовой представитель стартового устройства, содержащий все основные узлы, представленные в функционально-структурной и структурной моделях (рис. 1 и 2).

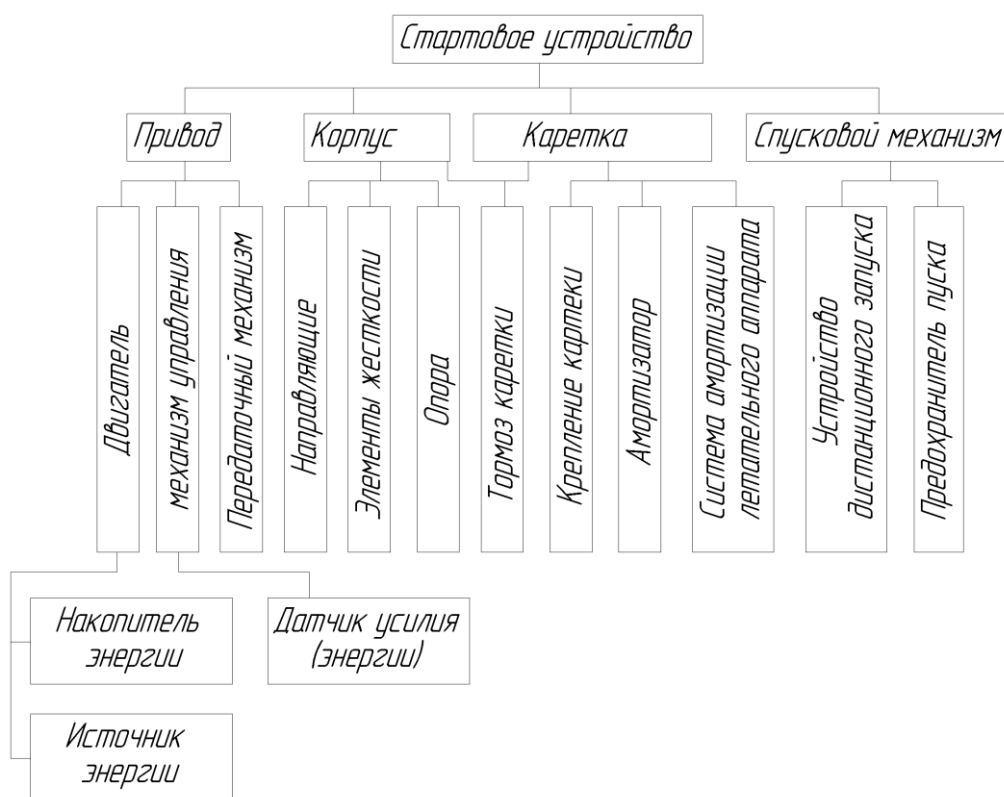


Рисунок 1 – Структурная модель стартовых устройств

Функционально-структурная модель стартовых устройств беспилотных летательных аппаратов позволяет:

- составить наиболее полное представление о процессе запуска летательных аппаратов;
- проследить связи в рассматриваемом процессе;
- выявить наиболее важные функции;
- обоснованно выбрать конструкцию стартового устройства;
- наметить пути повышения объективности, эффективности и надежности стартовых устройств.

При проектировании катапульты для каждого конкретного запускаемого летательного аппарата ставится отдельная задача, учитывающая его особенности.

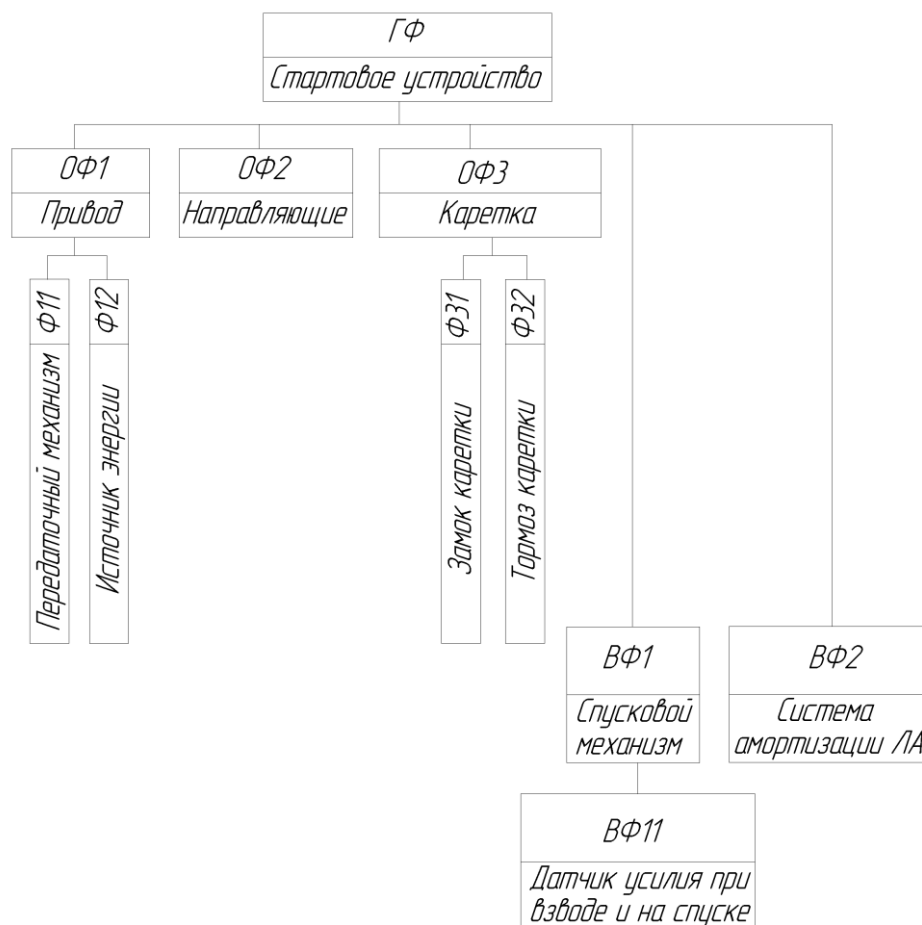


Рисунок 2 – Функционально-структурная модель стартовых устройств

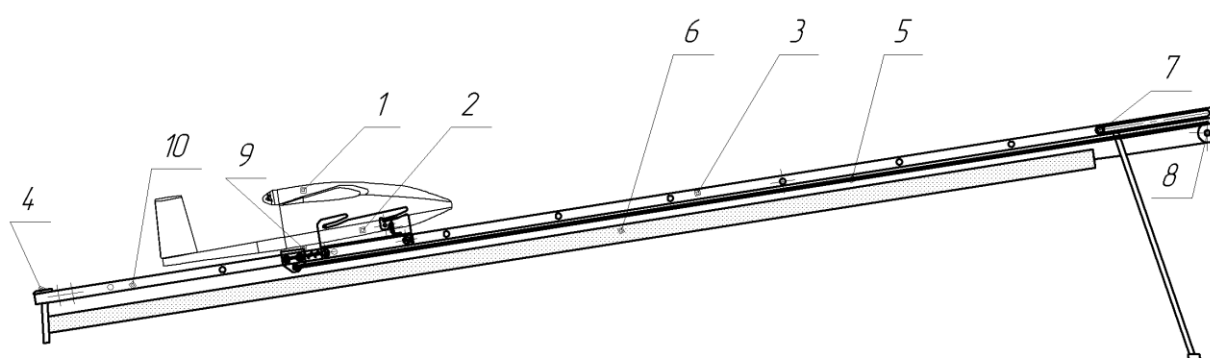


Рисунок 3 – Катапульта для запуска беспилотных летательных аппаратов:

- 1 – летательный аппарат; 2 – каретка катапульты; 3 – линейные направляющие катапульты; 4 – замок катапульты; 5 – трос катапульты;
- 6 – двигатель катапульты (резиновый трос, газовый поршень, пороховой или любой другой двигатель); 7 – тормоз катапульты; 8 – блок;
- 9 – амортизационный элемент; 10 – амортизационная пружина

На основании функционально-структурной модели можно составить классификацию пусковых установок и их узлов по нескольким основаниям (рис. 4–7):

- 1) типу двигателя;
- 2) виду движения летательного аппарата на пусковой установке;
- 3) массогабаритным характеристикам запускаемого летательного аппарата;
- 4) мобильности.

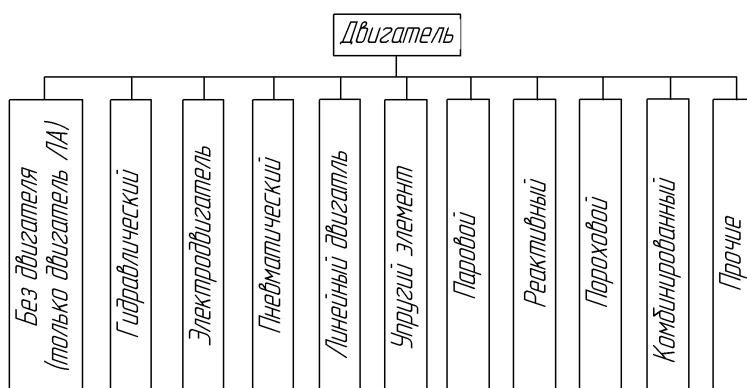


Рисунок 4 – Классификация беспилотных летательных аппаратов по типу двигателя



Рисунок 5 – Классификация беспилотных летательных аппаратов по виду движения летательного аппарата на пусковой установке

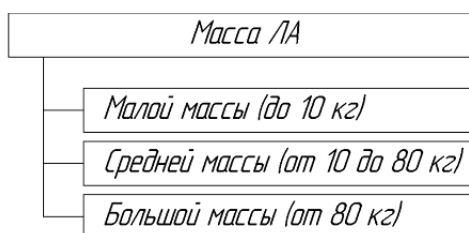


Рисунок 6 – Классификация беспилотных летательных аппаратов по массогабаритным характеристикам запускаемого летательного аппарата

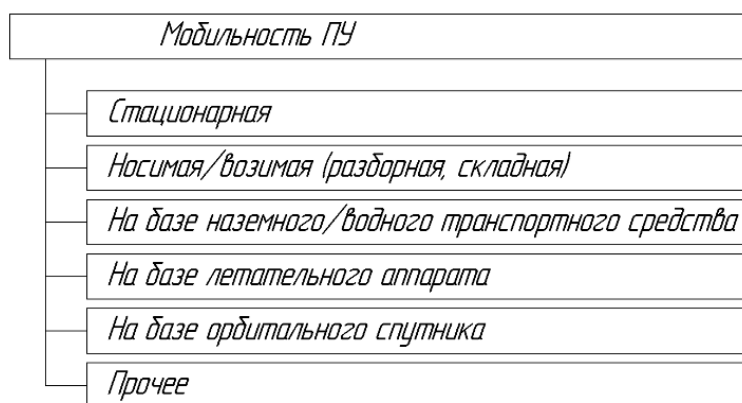


Рисунок 7 – Классификация беспилотных летательных аппаратов по мобильности

Функционально-структурная модели и классификация пусковых установок позволяют решить задачу выбора конструктивной схемы запуска беспилотного летательного аппарата, и при этом минимизировать требования, предъявляемые к летательному аппарату и его аппаратуре при старте.

#### Библиографический список

1. Исследования способов пуска дистанционно пилотируемых летательных аппаратов/Сб. статей. [Пер. с англ.] – М.: ОНТИ МАИ, 1983 г.
2. Моисеева Н.К. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа / Н.К. Моисеева, М.Г. Карпунин. – М. : Высшая школа, 1988. – 192 с.

УДК 629.7.085.2

## МЕХАНИЗМЫ СЪЕМНЫЕ РОТОРНЫХ ЛИНИЙ

Аленченков И.С.

Научный руководитель: д.т.н., доцент Пушкарев А.Э.

*Ижевский государственный технический университет  
г. Ижевск*

Установлено, что только в машиностроении не менее 25% всей выпускаемой продукции может производиться на автоматических роторных и роторно-конвейерных линиях.

Роторные линии в нашей стране и за рубежом используются в основном для производства штучных товаров пищевых производств, препаратов медицинской промышленности и других предметов массовых производств.

Опыт последнего десятилетия показывает, что наиболее рациональным является применение роторных линий для изготовления малогабаритных

изделий простейшей формы, когда инструменту достаточно сообщить простейшие движения или когда обработка осуществляется перемещением рабочей среды (нагрев, окраска, напыление и т.п.).

Контрольные механизмы, как материальный элемент, входящий в состав роторной линии, вносят значительный вклад в фактическую производительности роторной линии (до 10%), и отвечают за 40% внецикловых потерь времени. Для выбора оптимального варианта контрольного механизма требуется синтез и структурно-параметрический анализ этих механизмов.

Известны различные конструкции механизмов выборочного съема. Каждый механизм обладает своими достоинствами и недостатками и может быть использован в конкретном случае.

Съемник на рис. 1, а воздействует непосредственно давлением струи газа или жидкости на заготовку или через дополнительную деталь – толкатель. Для заготовок с массой более 100г использовать такие съемники становится нецелесообразно из-за значительного роста габаритов таких механизмов. К тому же сама рабочая жидкость или газ в рабочей зоне роторной линии может быть недопустима.

Съемник на рис. 1, б самый простой по конструкции, он зачастую ограничен одной деталью – упругим элементом, который в свою очередь является толкателем, взводится за счет подвижных элементов или механизмов линии. Такой механизм не может быть использован для заготовок массой более 1 кг или ответственных или хрупких деталей, так как невозможно исключить ударную нагрузку.

Фрикционный съемник (рис. 1, в) использует геометрические особенности заготовки, передача и изменение направления движения осуществляется силами трения между заготовками и деталями съемного механизма. Использование такового механизма целесообразно в исключительных случаях когда это позволяет геометрия заготовки, контактная прочность и масса.

Съемники на рис. 1, г, д оснащены собственными электродвигателями. Первый механизм осуществляет съем за счет профиля кулачка. Съемник (рис. 1, д) воздействует на заготовку толкателем. Механизм более сложный, обеспечивает плоскопараллельное движение, частично исключая ударные нагрузки.

Съемники (рис. 1, е, ж) в качестве привода используют пневмо- и гидроцилиндры. В варианте рис. 1, ж толкатель совершает только прямолинейное движение, таким образом частично исключается трение толкателя об заготовку. Такие механизмы используют в случаях, когда в роторной линии рабочие операции осуществляются за счет гидравлики или пневматики, цилиндры работают от гидростанции или компрессора линии.

Различные манипуляторы (рис. 1, з, и, к) могут применяться в качестве съемников с роторных линий. В общем случае наиболее сложны и трудоемки. Оснащены большим количеством приводов: пневматическими,

гидравлическими, электрическими, а иногда и сервоприводами.

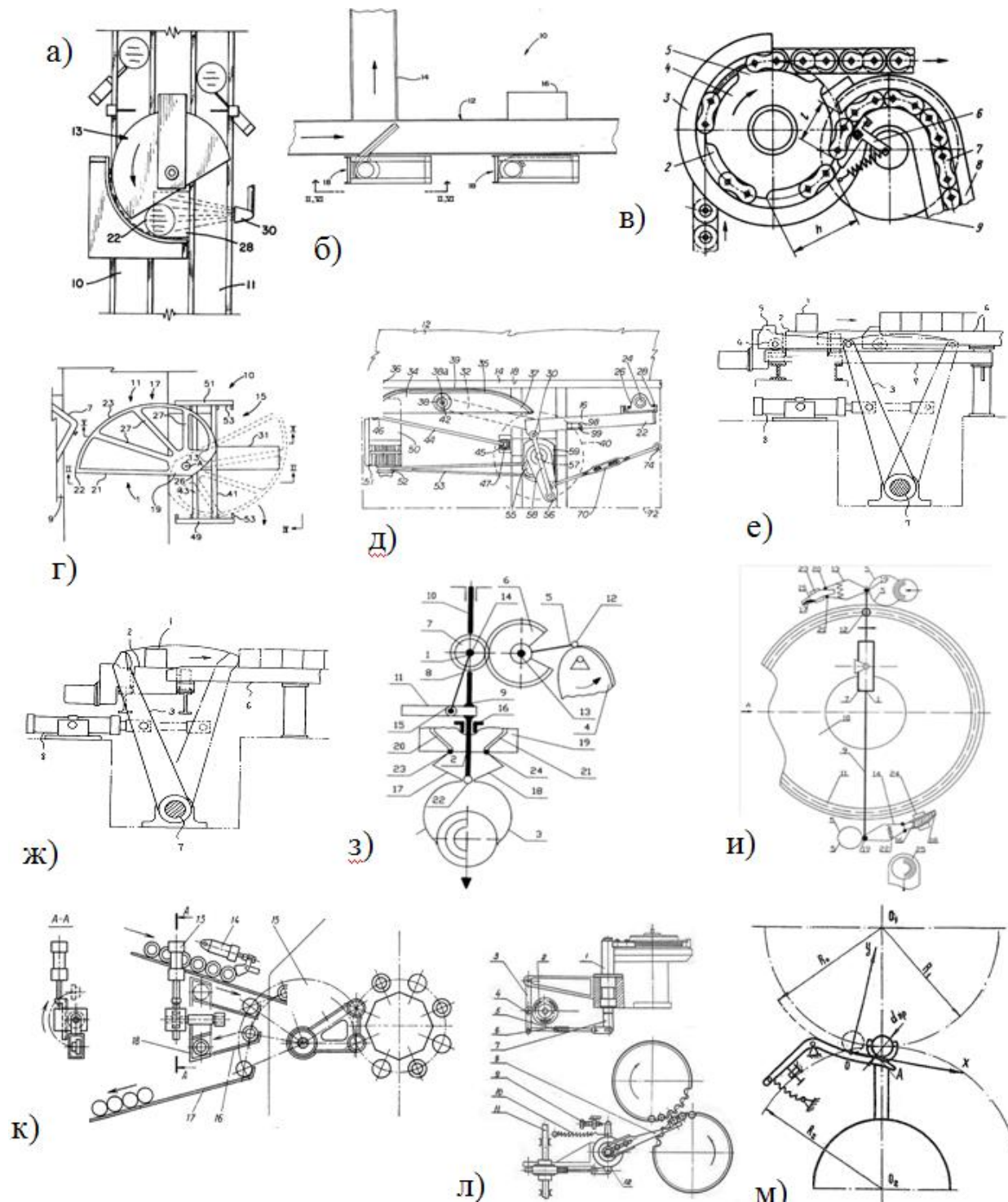


Рисунок 1 – Механизмы съема и контроля роторной линии

Ручной рычажный съемник (рис.1, м) имеет простую и надежную конструкцию. Профиль толкателя исключает ударные нагрузки, но нет возможности каким-либо образом сортировать заготовки, снятые с рабочего русла.

Кулачковые съемники работают от собственных приводов (рис.1, л).

Профиль кулачка позволяет избежать ударов, передающихся заготовке через толкатель.

Рассмотрев функционально-структурную модель роторной линии [1], можно наметить пути наиболее рационального синтеза съемных устройств. В частности, выбор съемника может идти по пути совмещения нескольких функций в одной структуре или даже исключения какой-то функции. Этому требованию в наибольшей мере отвечает, например, электромагнитный или кулачковый съемник.

Методика синтеза структурных схем съемных механизмов роторной линии с помощью функционально-структурной модели состоит из следующих этапов. На первом этапе задается главная функция съемного устройства, определяются ограничения по скорости срабатывания и габаритным характеристикам. На втором этапе из ряда структурных схем отбираются те, которые соответствуют заданным требованиям. Из ряда альтернатив, с помощью полной функционально-структурной модели, по коэффициентам вклада структур в выполнение функций, определяется ряд конкурирующих структурных схем. Реализацию методики покажем на примере синтеза съемного устройства роторной линии.

Из предварительного рассмотрения функционально-структурной модели рассмотренной в статье [1] следует, что наиболее перспективными структурными схемами в этом случае являются схемы съемных устройств с элементами, исключаящими ударные нагрузки и имеющие конструктивную возможность сортировки и установления номера инструментального блока, на котором производилась обработка заготовки. При всех этих условиях привод съемника должен обеспечивать своевременное срабатывание и возврат толкателя в исходное положение. В табл. 1 показаны некоторые схемы, синтезированные для решения вышеуказанных задач.

Таблица 1 – Синтезированный ряд структурных схем съемных механизмов

| № п/п | Описание   |
|-------|--|
| 1     | Ручной рычажный механизм выборочного съема, толкатель в виде улавливателя, съем вдоль русла          |
| 2     | Ручной рычажный механизм выборочного съема, рабочая поверхность толкателя выполнена в виде синусоиды |
| 3     | Кулачковый механизм съема, электродвигатель, зубчатый привод, толкатель работает от профиля кулочка  |
| 4     | Кулачковый механизм съема, сложный толкатель с демпфером и подшипником                               |
| 5     | Рычажный автоматический механизм съема, собственный двигатель – электромагнит тянущий                |
| 6     | Рычажный автоматический механизм съема, собственный привод - гидроцилиндр                            |



В табл. 2 приводится анализ эффективности различных конструктивно-компоновочных схем съемных механизмов. Функции, характерные для всех конструктивно-компоновочных схем и имеющие одинаковую в процентном соотношении значимость для функционирования съемного устройства, в табл. 2 не отображены.

Таблица 2 – Анализ эффективности различных конструктивно-компоновочных схем съемных механизмов роторной линии

| Вариант конструктивно-компоновочной схемы съемных механизмов роторной линии                            | Вклад материального элемента в выполнение функции, % |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | ОФ1  | ОФ2 | ОФ3 | ОФ4 | Ф11 | Ф12 | Ф13 | Ф22 | Ф23 |
| 1. Ручной рычажный механизм выборочного съема, толкатель в виде улавливателя, съем вдоль русла         | -  | 90  | -   | -   | -   | -   | -   | 60  | 100 |
| 2 Ручной рычажный механизм выборочного съема, рабочая поверхность толкателя выполнена в виде синусоиды | -  | 100 | -   | -   | -   | -   | -   | 95  | 90  |
| 3. Кулачковый механизм съема, электродвигатель, зубчатый привод, толкатель работает от профиля кулачка | 45   | 100 | -   | 100 | 85  | 90  | 100 | 95  | 90  |
| 4. Кулачковый механизм съема, сложный толкатель с демпфером и подшипником                              | 45   | 100 | -   | 100 | 85  | 85  | 100 | 95  | 100 |
| 5. Рычажный автоматический механизм съема, собственный двигатель – электромагнит тянущий               | 55   | 100 | 100 | 95  | 50  | 95  | 95  | 95  | 90  |
| 6. Рычажный автоматический механизм съема, собственный привод - гидроцилиндр                           | 55   | 100 | 90  | 95  | 50  | 95  | 95  | 90  | 90  |

Таким образом, наиболее рациональной конструктивно-компоновочной схемой механизма съема роторной линии является синтезированная конструктивно-компоновочная схема № 5 из табл. 3. На предложенные схемы получен патент на полезную модель 101435 РФ [2].

Рычажный электромеханический съемник превосходит по скорости срабатывания механизмы с другими приводами, а выполненный совместно с механизмом счета позволяет максимально упростить механическую часть конструкции. Сравнительно небольшие габариты составляющих механизма

позволяют разместить его в ограниченном пространстве.

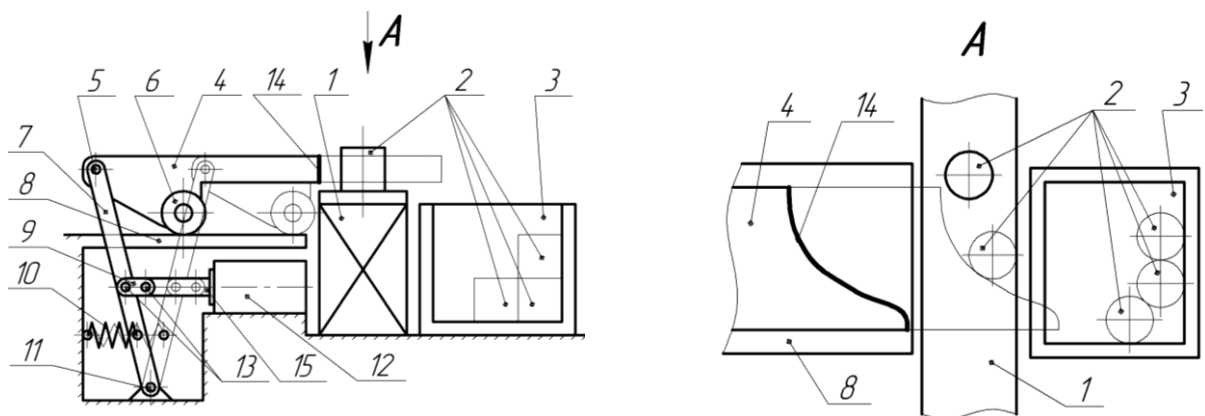


Рисунок 1 – Съемный механизм:

1 – конвейер, 2 – заготовки, 3 – лоток, 4 – толкатель, 5 – ось, 6 – ролик, 7 – ведущий рычаг, 8 – направляющие, 9 – соединитель, 10 – пружина сжатия, 11 – ось ведущего рычага, 12 – тянущий электромагнит, 13 – ось соединителя, 14 – рабочая поверхность толкателя, 15 – якорь электромагнита

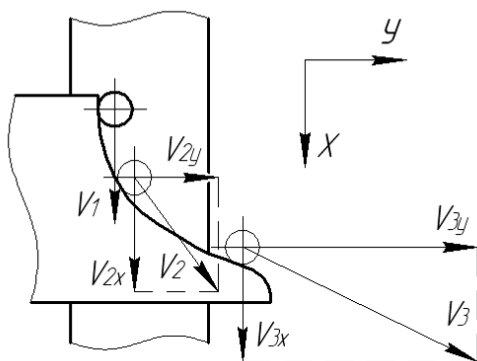


Рисунок 2 – Толкатель заготовок в рабочем положении:

$x, y$  – координатные оси;  $V_1, V_{2x}, V_{3y}$  – скорость конвейера;  $V_{2y}, V_{3y}$  – скорость смещения вдоль оси  $y$ ;  $V_2, V_3$  – абсолютная скорость заготовки

Окончательное решение о выборе той или иной структурной схемы принимается после параметрического синтеза и анализа. Для проведения последнего необходимо составление математической модели динамики движения толкателя и заготовки, расчет по ней конструктивных параметров съемного механизма.

#### Библиографический список

1. Аленченков И.С. Использование функционально-структурной модели роторной линии для выбора механизма съема / И.С. Аленченков, А.Э. Пушкарев // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2011. – № 2. – С. 34 – 38.
2. Пат. на полезную модель 101435 РФ, МПК В65G 47/82. Устройство

УДК 621.01

## **ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ С ПИРОПРИВОДОМ**

**Докукин М.Ю.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Пушкарев А.Э.**

*Ижевский государственный технический университет  
г. Ижевск*

В настоящее время самым ценным ресурсом является время. В зависимости от складывающейся ситуации, оно может быть бесценно, например для спасения человеческой жизни, в аварийной ситуации, для ликвидации последствий ЧС, и т.д.

Специалисты МЧС для ликвидации аварий, чрезвычайных ситуаций и последствий стихийных бедствий используют специальное оборудование. К ним относятся: гидравлические ножницы, гидравлические раздвижники, специальные домкраты (такие домкраты развивают усилие в несколько тонн). Гидравлический инструмент требует специального ухода, дополнительного оборудования насосных станций высокого давления, гидролиний и т.д. гидравлический инструмент не работает мгновенно (требуется время для накачки необходимого давления несколько десятков циклов), требует отдельного источника энергии (электрогенератор для работы насосных станций)

Возможной альтернативой гидравлическому инструменту являются, устройства с использованием энергии пороховых газов – механизмы с пироприводом: пирорезаки для резки металлических прутьев, пирораздвижники для раздвигания прутьев решетки или вскрытия заклинивших дверей и др.

Данные механизмы уже используются в различных отраслях: пироболты для разделения ступеней в ракетной технике, механизмы катапультирования в авиации и т.д.

Между тем, достаточно надежные и компактные устройства для использования в чрезвычайных ситуациях находятся еще в стадии разработки, что подчеркивает актуальность исследования.

Проектирование пироприводов связано, в первую очередь, с задачами внутренней баллистики порохового заряда [1]. В баллистическом проектировании решается основная задача: определить конструктивные данные канала пиропривода и условия, при которых толкатель определенного диаметра и веса приобретает заранее заданную начальную скорость. При этом наибольшее давление газов, развивающихся при горении

пороха, не должно превышать определенной величины.

К конструктивным данным канала относятся: объем камеры  $W_0$ , поперечное сечение канала  $S$ , длина пути толкателя по каналу  $l_D$ , длина камеры  $l_{KM}$  с учетом ее уширения  $\chi$  по сравнению с сечением канала,

относительный путь толкателя по каналу  $\Lambda_D = \frac{l_D}{l_0} = \frac{W_0}{W_D}$ , длина канала  $l_{KH}$  и

объем канала  $W_{KH} = W_0 + S \cdot l_D = S(l_0 + l_D)$ .

Пиропривод характеризуется определенной системой баллистических характеристик, которые можно разделить на три группы:

- а) конструктивные характеристики канала пирорезака;
- б) характеристики условий заряжания;
- в) энергетические характеристики.

Рациональная методика баллистического проектирования должна давать кратчайший путь к нахождению решения, удовлетворяющего всем поставленным требованиям.

На данный момент существуют резаки пиротехнические, производства ЦНИИ Точмаш.

Резаки пиротехнические малогабаритные простые в использовании, надежные, отличаются высокой производительностью. Автономные в работе и универсальные в применении.

Малогабаритный пиротехнический резак предназначен для резки металлических конструкций пруткового типа при проведении ремонтно-монтажных и аварийно-спасательных работ на воздухе и под водой.

Механизм воздействия заключается в следующем: резка осуществляется за счет использования режущим элементом энергии пороховых газов холостого патрона. Малые габариты и масса, автономность работы и высокая энергоемкость обеспечивают возможность и удобство применения пиротехнического резака в труднодоступных местах и ограниченном пространстве при температурах окружающей среды от  $50^\circ \text{C}$  до минус  $50^\circ \text{C}$ .

| Модель                                | РПМ-10                 | РПМ-20                   |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Сечение перерезаемого прутка          | 7...50 мм <sup>2</sup> | 80...315 мм <sup>2</sup> |
| Общее время выполнения операции резки | 6 с                    | 8 с                      |
| Масса резака                          | 0,7 кг                 | 4,5 кг                   |
| Длина резака                          | 160 мм                 | 300 мм                   |
| Емкость обоймы                        | 2 патр.                | 8 патр.                  |
| Масса патрона                         | 3,2 г                  | 8,5 г                    |
| Длина патрона                         | 20 мм                  | 38 мм                    |

Также существуют пиротехнические резаки с использованием термитного эффекта. [2]

Существуют патенты на такие резаки. Сущность изобретения в

следующем: резак содержит корпус с рукояткой, сменный пиротехнический генератор с соплом и капсюлем-воспламенителем. В корпусе выполнен огневод, соединяющий капсюль-воспламенитель и воспламенитель-обтюратор, который в свою очередь установлен в радиальном отверстии сопла пиротехнического генератора. Рукоятка снабжена ударно-спусковым механизмом.

При срабатывании резака происходит накол капсюля-воспламенителя, луч огня через огневод зажигает воспламенитель-обтюратор от которого зажигается пиротехническая шашка состоящая из термитного состава, при горении шашки образуется газожидкостная высокоскоростная струя, формируемая соплом и направленная на разрезаемый объект. По окончании работы пиротехнического генератора необходимо нажать на фиксатор, он освобождает корпус, который изменяет свое угловое положение. Удаляется использованный генератор и заменяется на новый. Далее работа повторяется.

Проектируемый пиротехнический резак предполагает использование высокого давления пороховых газов (холостого патрона) через рычаг для разрезания прутка.

Таким образом, проектирование механизмов с пиропроводом является сложной проблемой, связанной с решением задач внутренней баллистики. Необходимо произвести расчет стенок газовой камеры, силовой расчет системы рычагов и расчет на прочность конструкции в целом. В связи с неопределенно большим числом возможных решений задачи при баллистическом проектировании возникает вопрос о выборе критериев для оценки получаемых расчетом вариантов проекта.

Особенности внутренней баллистики у пирорезаков в отличие от стрелкового оружия заключаются в следующем. Процесс срабатывания пирорезака во многом отличается от процесса выстрела, Толкатель не покидает пределов корпуса, а пороховые газы стравливаются в крайнем переднем положении толкателя.

Рациональная методика баллистического проектирования должна давать кратчайший путь к нахождению решения, удовлетворяющего всем поставленным требованиям.

Создание и совершенствование механизмов с пиропроводом, предназначенных для работы в чрезвычайных ситуациях, обладающих повышенным быстродействием и сниженной ударовиброотдачей, возможно путем разработки методов их структурного и параметрического синтеза.

Представляется, что проектирование механизмов с пиропроводом должно состоять из следующих этапов:

1. Исследование структурных и функциональных связей пиромеханизмов, создание их функционально-структурной модели.
2. Разработка методов структурного синтеза пиромеханизмов.
3. Синтез схем пиромеханизмов, отвечающих основным и дополнительным условиям синтеза.

4. Разработка методов параметрического синтеза пиромеханизмов на основе математического моделирования динамики их работы.

5. Проведение экспериментов с целью проверки адекватности разработанной математической модели и уточнения основных параметров пиромеханизмов.

Разработанные инженерные методики расчета предполагается использовать при проектировании механизмов с пироприводом, предназначенных для работы в чрезвычайных ситуациях. Созданные конструкции пиромеханизмов призваны повысить скорость и эффективность спасательных работ в чрезвычайных ситуациях.

#### Библиографический список

1. Вентцель Д.А. Внутренняя баллистика. – М.: ВВИА им. Жуковского, 1948.

2. Пат. 2060112 РФ, МПК В23К7/00. Ручной пиротехнический резак. Симонов В. В.; Симонова Е. М. – № 5064222/08; заявлено 05.10.1992. – Оpubл. 20.05.1996. – Бюл. № 2.

УДК 656.073: 658.8

## **МОДУЛЬНО-ИНТЕГРИРОВАННАЯ СТРУКТУРА ЛОГИСТИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЬНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА**

**Покровская О.Д.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Воскресенская Т.П.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Логистический накопительно-распределительный центр (ЛНРЦ) как сложную мезологистическую систему можно рассматривать в физическом, экономическом, организационно-правовом, логистическом аспектах. Данная работа посвящена технико-технологическому аспекту ЛНРЦ, в частности, его структуре.

В наиболее общем случае под логистическим накопительно-распределительным центром (далее – ЛНРЦ) понимается мультимодальный транспортный узел, представляющий собой комплекс сооружений и технических устройств, организационно и технологически взаимосвязанных и предназначенных для выполнения множества логистических операций.

В современной логистической науке и практике ЛНРЦ – это «сухой порт», находящийся вдали от портовых терминалов и способный обеспечить комплексное транспортно-логистическое сопровождение грузодвижения и грузообращения в целом.

В настоящей работе под ЛНРЦ понимается комплексная интегрированная система поставок и обслуживания грузообращения,

включающая доставку, хранение, управление добавленной стоимостью, распределение и доведение груза до потребителей, сервисную поддержку грузо- и товарообращения.

Прежде чем рассматривать структуру ЛНРЦ, выделим основные составляющие, формирующие модульный состав ЛНРЦ. Для этого определим ряд независимых, но интегрированных единым управлением и технологическим процессом объектов, которые несут функции модулей сложной мезологистической системы (рис.1).

Для того, чтобы определить функционально-техническую оснащенность модулей в структуре ЛНРЦ, дадим технологическую интерпретацию понятия ЛНРЦ.

Технологически ЛНРЦ – это совокупность самостоятельных, но технологически связанных между собой предприятий крупного грузообразующего района в части единого технологического процесса транспортировки, ПРР и транспортировки по единому перевозочному документу.

Основная задача ЛНРЦ в этом аспекте связана с обработкой грузов, требующих переработки (изменения количественных и качественных параметров), т.е. ЛНРЦ создается для обслуживания не прямых маршрутов доставки массовых грузов, а для массовых грузов, идущих с переработкой (пере/под/рас/формированием и перегрузкой/перевалкой).

Иными словами, ЛНРЦ – это промышленно- транспортное объединение технологически и экономически связанных самостоятельных или интегрированных предприятий, имеющих на различных условиях подвижной состав, складские площади, перегрузочное оборудование, ориентированных на выполнение комплекса логистических функций при централизованном управлении грузодвижением через них.

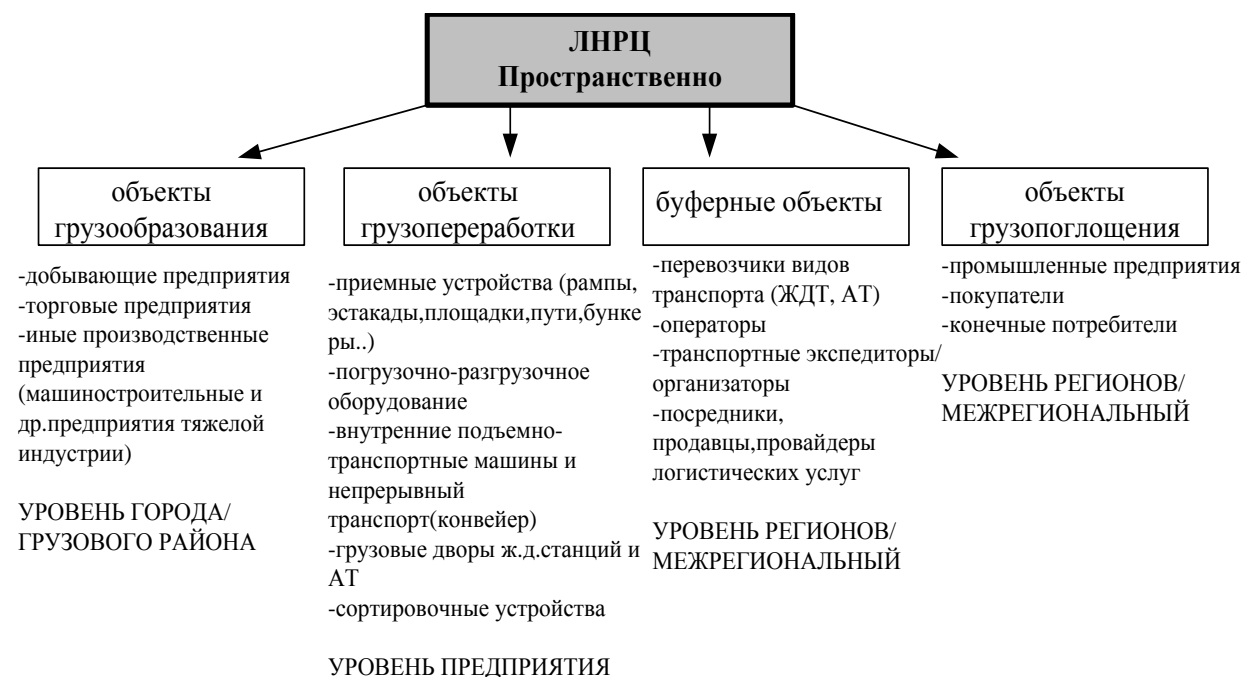


Рисунок 1 – Пространственные составляющие (модули) ЛНРЦ

Технология работы ЛНРЦ соответствует с работой последней/выходной точкой производства.

Рассмотрим составность ЛНРЦ и сформируем его технологическую структуру. ЛНРЦ, как модульный интегральный логистический оператор, в своем составе имеет следующие основные модули:

- накопления и хранения (склады, складские оборудованные емкости, специализированные по виду груза, оборудование обеспечения качества и потребительских свойств хранящегося груза, площадки для временного хранения и реформирования грузовых партий, площадки/пути для отстоя подвижного состава различных видов транспорта),

- переработки и обогащения (обогащительные, дробильно-сортировочные и очистные комплексы, иные технологические комплексы по управлению качеством, добавленной стоимостью массовых сыпучих грузов и повышению/изменению их потребительских свойств),

- грузового оборудования (погрузо-транспортные и подъемно-транспортные машины, краны, грузозахватные устройства, автомобильные и железнодорожные рампы; внутренние транспортные системы – конвейеры, авто- и электропогрузчики),

- сортировки и комплектации (устройства сортировки, информационные системы штрих-кодирования и автоматизации грузовых и складских процессов, системы учета грузов, навигационные системы сопровождения грузодвижения),

- разгрузки (приемные рампы, эстакады, бункера).

- погрузки (маневровые площадки, погрузчики, перегружатели, штабелеры),

- транспорта (локомотивы, автомобили, автомобили-тягачи, транспортные единицы – вагоны, полувагоны, прицепы и полуприцепы),

- сервиса (предприятия-производители, -поставщики, -потребители, -продавцы продукции).

Графическая интерпретация модульно-интегрированной структуры ЛНРЦ по модулям М1-М8 дана на рис.2.

Организационно-функциональная структура модулей М1 («транспорт»), М2 и М4-М7 (объединены в «склад»), представленных на рис.2, М3 («управление качеством и стоимостью»), М8 («сервис») показана на рис.3.



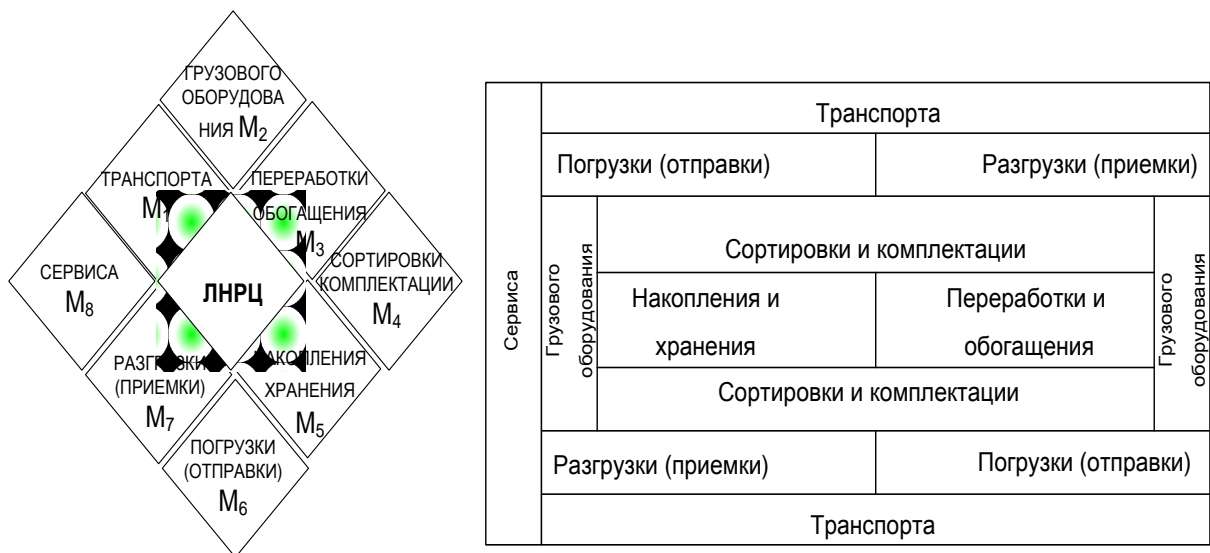


Рисунок 2 – Модульно-интегрированная структура ЛНРЦ

Технологическими зонами ЛНРЦ могут быть грузовые фронты, перевалочное и погрузо-разгрузочное оборудование, склады, подъездные пути авто- и железных дорог.

Структура технического и технологического оборудования и оснащения ЛНРЦ представлена на рис.4.



Рисунок 3 – Организационно-функциональная структура модулей ЛНРЦ

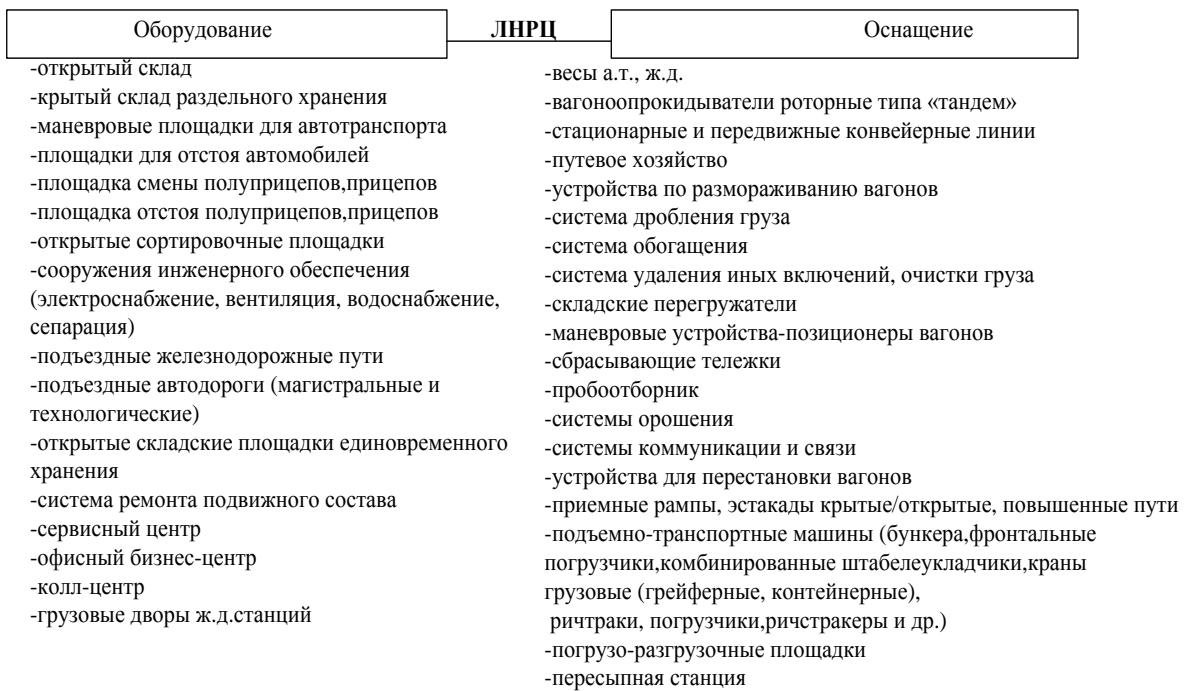


Рисунок 4 – Структура оборудования и оснащения ЛНРЦ

В состав ЛНРЦ как крупного мультимодального транспортного узла могут входить: крытые/открытые складские комплексы, хозяйственные здания, административно-бытовой корпус, гаражи, депо/ремонтные мастерские для обслуживания подвижного состава, топливозаправочные и экипировочные устройства, внешние и внутренние инженерные сети, устройства связи, освещения, пожарной и охранной сигнализации, ограждения территории, контрольно-пропускные пункты.

Если интерпретировать модульно-интегрированную структуру ЛНРЦ в аспекте виртуальной информационно-логистической системы (ЛНРЦ – виртуальный склад, транспортный организатор), то в укрупненном виде ее можно представить так (рис.5):

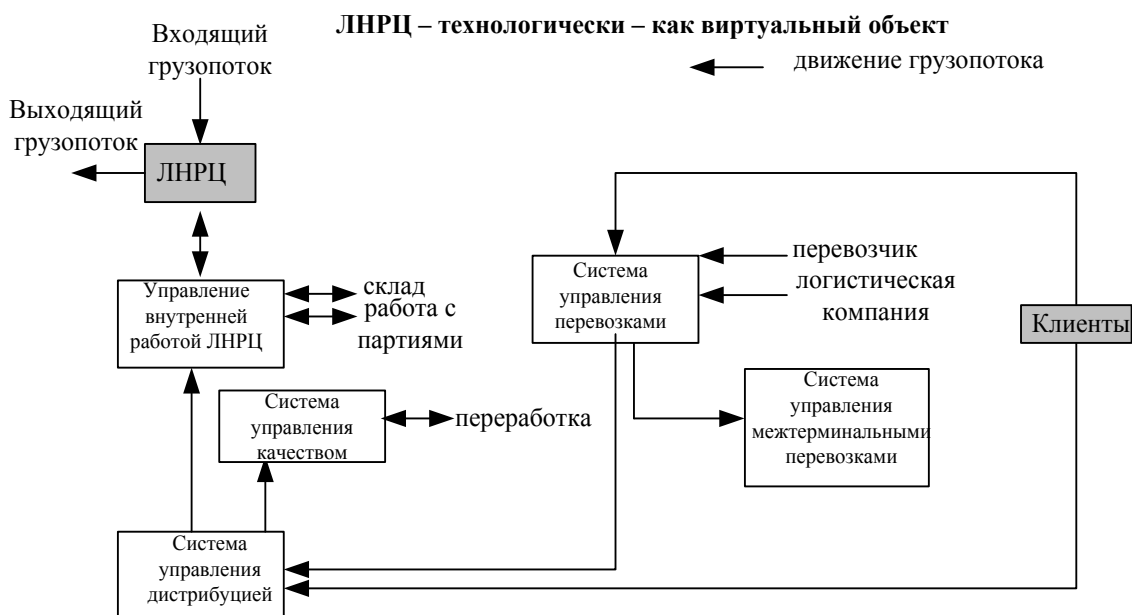


Рисунок 5 – Структура ЛНРЦ как информационно-логистической системы

В свою очередь, ЛНРЦ, как координирующий модуль товародвижеческой системы, обеспечивает единство транспортного, информационного и правового полей и жесткую ответственность для всех участников посредством логистической централизованной координации их работы (рис.6):

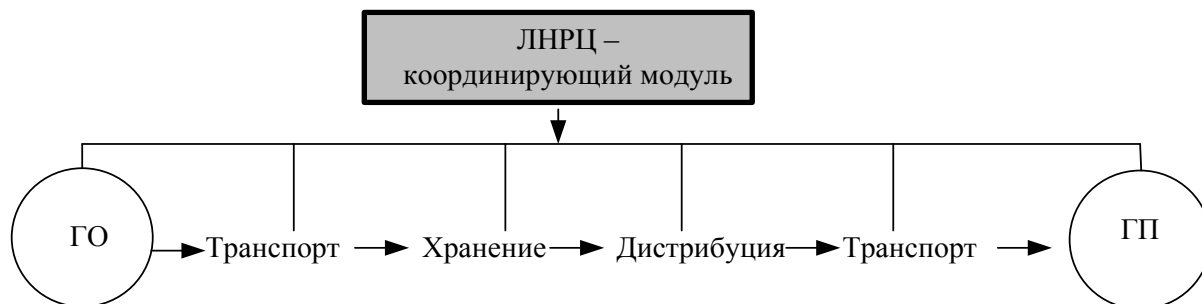


Рисунок 6 – Место ЛНРЦ в структуре системы грузодвижения

Подобная модульно-интегрированная структура ЛНРЦ, в состав которой входит несколько независимых предприятий, позволяет реализовать совершенно новый уровень сервиса для клиентов. ЛНРЦ может играть роль полноценного 4pl-оператора, предоставляющего весь спектр транспортно-логистических услуг. Обладая модульно-интегрированной структурой, ЛНРЦ обеспечит оказание принципиально нового вида консолидированной услуги по перегрузке, дистрибуции и перевозке; создаст конкурентные условия для перевозчиков и логистических компаний.

## **VI. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ**

УДК 622.6

### **ПРОЕКТ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ПРОДАЖИ БИЛЕТОВ В КИНОТЕАТРЕ**

**Магеррамова Т.Т.**

**Научный руководитель: доцент Малышева Е.Ю.**

*Поволжский государственный университет сервиса*

*г. Тольятти*

Современный этап развития общества характеризуется внедрением автоматизированных информационных систем во все сферы деятельности, в том числе и сфере кинобизнеса.

В больших кинотеатрах, и порой бывает несколько залов, в них показывают разные фильмы в разное время, необходимо знать какой фильм и в какое время. Для обеспечения оперативности ведения информации о деятельности кинотеатра и обслуживания посетителей необходима автоматизированная система, основанная на современной базе данных. Использование базы данных и автоматизированной системы для работы с базой данных существенно сократит время поиска информации о фильмах, сеансах, стоимости билета и решит многие другие задачи.

В базе данных необходимо хранить разнообразную информацию о фильмах. Информация о фильмах должна быть полной и достаточной.

Для разработки программы были выбраны программные продукты Microsoft SQL Server и Microsoft Visual Studio 2010, который в настоящее время представляет собой высокоэффективную среду профессионального разработчика, которая свободно соединяет несколько технологий, предоставляющих разработчикам беспрецедентные возможности для создания приложений Windows, Web-служб, Web-приложений, сайтов и т.д.

Предприятие ООО «Кинотеатр Галактика», деятельность которого планируется автоматизировать, занимается показом фильмов. В зависимости от того, на сколько работа кассира автоматизирована, можно судить об эффективности его работы. Каждый день организация осуществляет продажу и бронирование билетов.

Бронирование осуществляется самим клиентом через Интернет и через оператора. После клиент получает билет у кассира. Потом билет предъявляют проверяющему при входе.

Данная информационная система разрабатывается с расчетом на два пользователя – кассира и администратор, поскольку все функции по работе с клиентами возложены только на них. При работе с системой кассир и администратор должны иметь возможность решать следующие задачи:

– Получать доступ к данным таблиц, которые должны повторять

структуру ранее созданного журнала.

- Просматривать данные таблиц, при необходимости редактировать их.
- Создавать на основе исходных данных различные отчеты. При этом в основном используется выборка из таблиц.

Таким образом, разрабатываемая система должна обеспечивать решение вышеперечисленных задач.

Модель функционирования отдела по управлению клиентами разработана по средствам программного обеспечения VPwin 4.0. В контекстной диаграмме входной информацией являются данные запросы клиента и деньги. Выходной информацией является проданный билет и отчет о продаже билетов. Механизмами являются клиенты, оператор, кассир и бухгалтер. Управляющие стрелки – прайс-лист, сеансы и схема зала.

Процесс моделирования в Erwin базируется на методологии проектирования реляционных баз данных IDEF1X. Схема логической модели данных представлена на рис. 1.

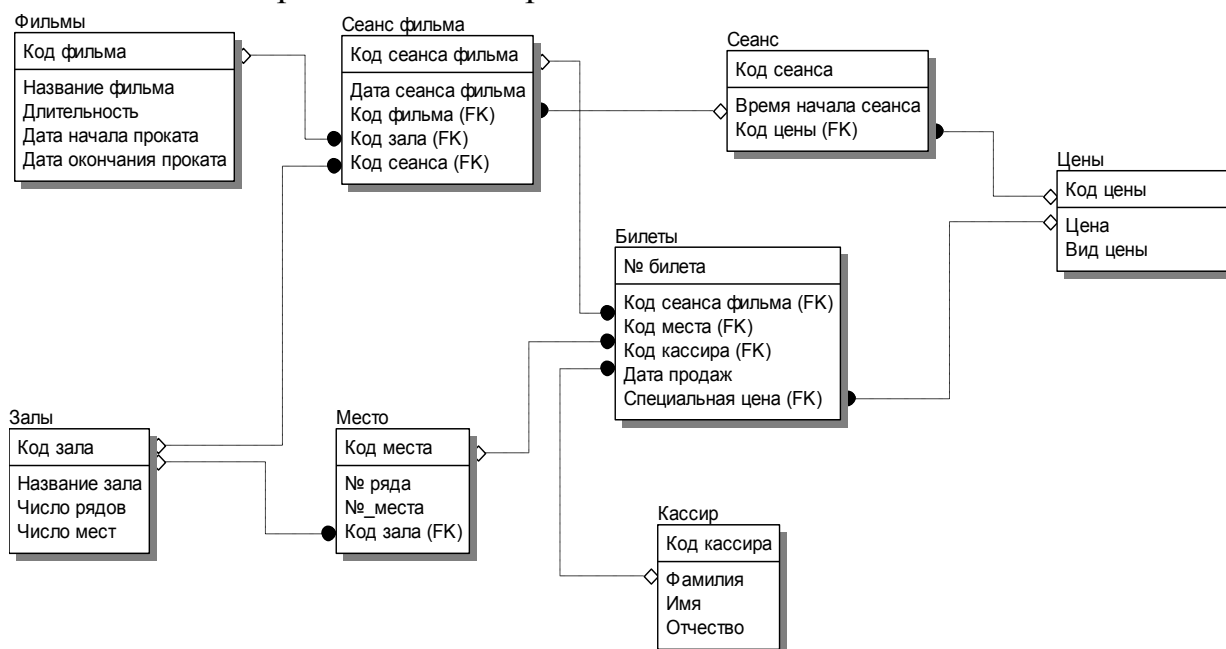


Рисунок 1 – Логическая модель базы данных

Разработка ИС учета персонала в отделе кадров начинается с создания БД «Кинотеатра» в SQL Server 2005, которая основывается на организации передачи данных из пакета Erwin в Microsoft SQL Server 2010. БД содержит 5 таблиц: Фильмы (Film), Сеансы (Seance), Залы (Hall), Место (Place), Билет (Ticket), Продажа билета (Sale\_ticket).

При разработке СУБД «Кинотеатр. Продажа билетов» были разработаны экранные формы ввода/вывода исходных данных и результатов обработки, а также печатаемых отчетов.

Форма «Заставка» (рис. 2) позволяет осуществить выбор модуля посредством щелчка по нужной кнопке.

При нажатии на закладку в меню «Справка» можно перейти на форму со справкой, узнать о программе и об авторе.

При нажатии на «Операции» можно открыть информацию о фильме, просмотреть сеансы, зрительный зал, перейти на форму «Оформление билета», а так же выйти из программы

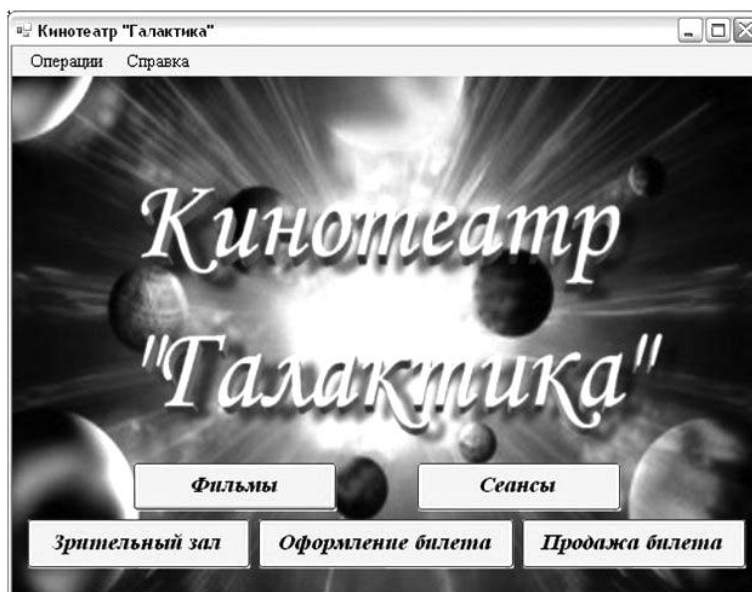


Рисунок 2 – Заставка

При нажатии на кнопку «Зрительный зал» появляется форма, в которой размещены таблицы «Зал» и « Место», по которым можно фильтровать записи, а также представлен поиск по данным таблицы. При нажатии на Операции – Открыть – Зрительный зал – Юпитер появляется форма со схемой выбранного зала, в данном случае схема зала Юпитер.

При нажатии на кнопку «Фильмы» (рис. 3) появляется форма, в которой можно сортировать, фильтровать и искать записи, а также добавлять, сохранять и удалять.



Рисунок 3 – Фильмы

При нажатии на кнопку «Сеансы» (рис. 4) появляется форма, в которой представлен поиск и фильтрация по данным таблицы.

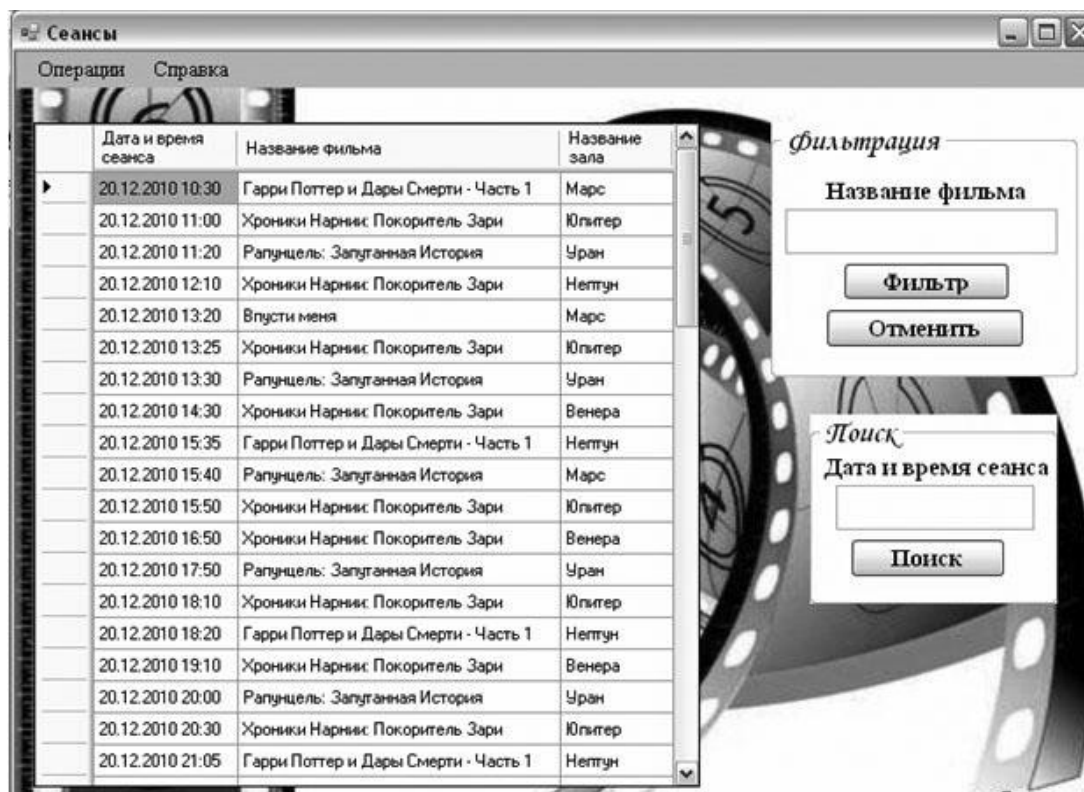


Рисунок 4 – Сеансы

При нажатии на кнопку «Продажа билетов» появляется форма, в которой расположены таблицы «Билет», в которой указывается № билета, название фильма, дата и время сеанса, зал, № ряда, № места, цена дата продажи билета и кассир. Таблицу можно обновлять, а также удалить данные (рис. 5). Кнопка «Оформить отчет» позволяет перейти на форму где формируется отчет по данным таблицы.

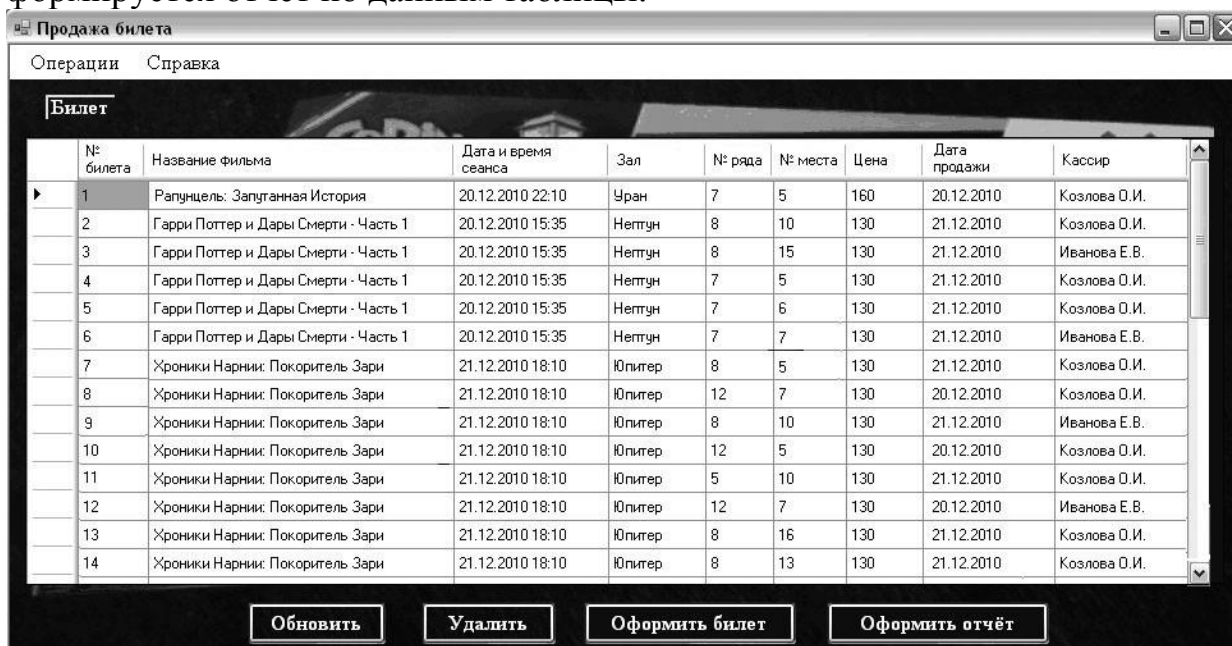


Рисунок 5 – Продажа билета

Кнопка «Оформить билет» позволяет перейти на форму где оформляется билет (рис. 6) и данные из этой формы добавляются в таблицу «Билет» на форме «Продажа билета» с помощью кнопки «Оформить». Так же при нажатии на кнопку «Оформить» формируется билет для печати.

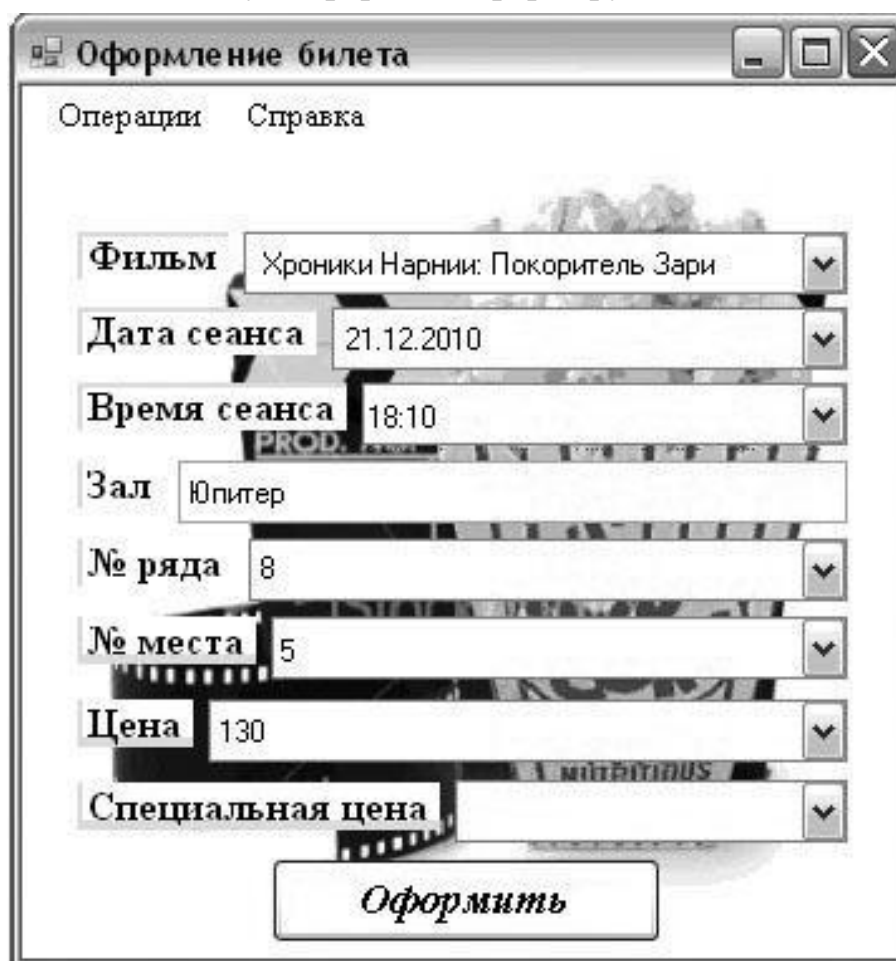


Рисунок 6 – Оформление билета

Таким образом, была спроектирована информационная система «Кинотеатр. Продажа билетов» и создано приложение для работы с базой данных. Приложение автоматизирует доступ к базе данных, позволяет быстро получить необходимые сведения, решает задачу оформления и продажу билета.

#### Библиографический список

1. Артемов Д.В. Microsoft SQL Server 2000 [Текст]. Установка. Управление. Оптимизация – М.: Рус. Ред., 2001. – 576 с.
2. Маклаков С.В. BPWin и ERWin CASE-средства разработки информационных систем [Текст] – М.: Диалог-МИФИ, 2001 – 256с.
3. Пауэрс Л. Microsoft Visual Studio 2008 [Текст] – БХВ-Петербург, 2009 – 1191 с.



## **ПРОЕКТ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ПЕРСОНАЛА В ОТДЕЛЕ КАДРОВ**

**Мухортова Л.В.**

**Научный руководитель: доцент Малышева Е.Ю.**

*Поволжский государственный университет сервиса  
г. Тольятти*

В настоящее время происходит активное внедрение автоматизированных информационных систем во все сферы деятельности подразделений университета, включая отдел кадров.

Каждая организация, независимо от ее размеров, имеет отдел кадров. Он является соединяющим звеном между рядовыми сотрудниками и вышестоящим руководителем. Правильная организация работы отдела кадров является важным моментом в деятельности всего предприятия, так как зависимость всех работников от полученного приказа об увольнении или принятии на работу, правильно посчитанного стажа очень велика. Отдел кадров вынужден работать с большим количеством людей. Это приводит к документообороту, являющийся источником большого количества бумаги. У специалистов хранится огромное число приказов, личных дел, анкет и других разного рода документов, которые являются необходимыми при такой работе. Поэтому возможность выполнения и хранения всех вышеперечисленных документов в электронном виде является важной и актуальной. У специалиста должна быть возможность выполнения всех кадровых операций на компьютере, что повышает эффективность, быстроту и удобство в работе. Поэтому создание автоматизированной системы отдела кадров является необходимой мерой для любого предприятия, которое ценит время, точность и правильность ведения кадровых дел.

В качестве программного продукта для написания информационной системы использовались Microsoft Visual Studio 2008 и Microsoft SQL Server 7.0 для создания базы данных. Оба продукта компании Microsoft имеют плюсы: дружественный интерфейс помогает быстро освоить программные продукты; на официальном сайте компании доступны бесплатные лицензионные версии программных продуктов; представляют собой высокоэффективную среду профессионального разработчика [2, С. 5-6].

Этапы создания ИС «Учет персонала» в отделе кадров: изучение основных направлений деятельности предприятия; изучение функций отдела кадров, а также описание и создание схемы информационных потоков автоматизируемых процессов; создание функциональной модели автоматизируемых процессов в стандарте IDEF0, включая диаграмму дерева узлов, а так же пояснения к модели и диаграммам;

1. описание требований и ограничений проектируемой ИС;
2. создание модели процессов (функциональной модели) ИС с

использованием методологии DFD или IDEF0, включая диаграмму дерева узлов, а так же пояснения к модели и диаграммам, в том числе сравнение модели процессов предметной области и модели процессов ИС;

3. создание модели данных ИС с использованием стандарта IDEF1X. Создание логической и физической модели данных, которая должна включать фрагмент сгенерированного SQL – кода для двух связанных таблиц для архитектуры «клиент-сервер» и пояснения к модели;

4. разработка ИС;
5. тестирование ИС;
6. внедрение ИС.

Организация Открытый Молодежный Университет, деятельность которого планируется автоматизировать, занимается следующими видами деятельности: предпрофильной подготовкой студентов, их профильным обучением, углубленным изучением предметов, факультативами, элективными курсами.

Здесь, как и во многих других организациях, существует отдел кадров, в котором ведется учет персонала. Благодаря деятельности данного отдела существует достоверная информация о каждом сотруднике, о численности персонала, о занимаемой должности, о приказах об увольнении или принятии на работу. Эти сведения поступают в бухгалтерию, где каждому начисляется заработная плата. Исходя из сведений отдела кадров, появляется информация о наличии свободных вакансиях. Таким образом, деятельность отдела кадров важна организации наряду с ее основной деятельностью.

При работе с системой менеджер по персоналу должен иметь возможность решать следующие задачи: получать доступ к данным таблиц, которые будут содержать полную информацию по каждому сотруднику; просматривать данные таблиц, вносить сведения о новых сотрудниках и удалять записи уволенных работников; создавать на основе исходных данных приказы, документы, отчеты. Таким образом, разрабатываемая система должна обеспечивать решение вышеперечисленных задач.

Для создания функциональной модели предметной области использовалась среда Erwin. CASE-средство Erwin используется для проведения анализа и реорганизации бизнес-процессов. Erwin поддерживает методологии IDEF0 (функциональная модель), IDEF3 (WorkFlow Diagram) и DFD (DataFlow Diagram). В контекстной диаграмме входной информацией являются личные документы, заявление на отпуск, заявление на увольнение. Выходная информация – подписанный приказ о приеме на работу, подписанный приказ о предоставлении отпуска, подписанный приказ об увольнении.

Процесс моделирования в Erwin базируется на методологии проектирования реляционных баз данных IDEF1X.

Схема логической модели данных представлена на рис. 1.

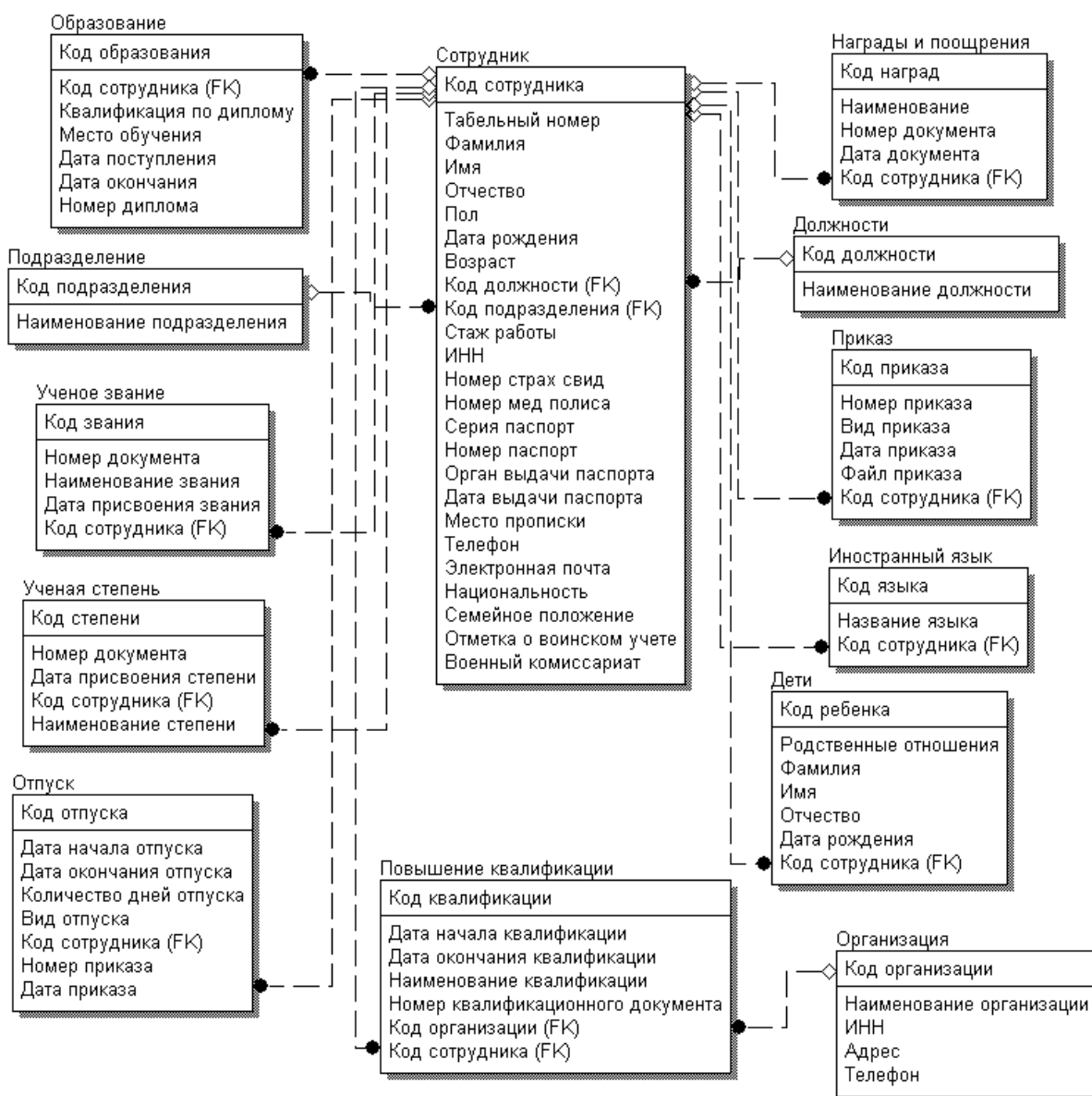


Рисунок 1 – Логическая модель базы данных

Логическая модель БД состоит из тринадцати взаимосвязанных таблиц методом «Один-к-многим». Таблица «Сотрудник» содержит все основные данные, необходимые работодателю: табельный номер, фамилия, имя, отчество, пол, возраст, дата рождения, общий стаж работы, ИНН, номер страхового свидетельства, номер медицинского полиса, серия паспорт, номер паспорт, орган выдачи паспорта, дата выдачи паспорта, место прописки, телефон, электронная почта, национальность, семейное положение, отметка о воинском учете, военный комиссариат. Поскольку в организации существуют несколько подразделений и должностей, то в таблице «Сотрудник» установим внешний ключ к таблицам «Подразделение» и «Должность» по ключевым полям «Код подразделения» и «Код должности» соответственно.

Дополнительные данные по сотрудникам заносятся в дополнительные

таблицы: «Образование», «Ученое звание», «Ученая степень», «Дети», «Иностранный язык», «Награды и поощрения».

Каждый сотрудник организации должен проходить повышение квалификации. Данные об этом содержатся в таблице «Повышение квалификации». Данные о предоставляемых отпусках сотрудникам содержатся в таблице «Отпуск». Таблица «Приказ» содержит сведения по сформированным приказам.

Затем организовываем передачу данных из пакета Erwin в Microsoft SQL Server 2005. Разработка ИС учета персонала в отделе кадров начинается с создания БД «Учет персонала» в SQL Server 2005: сначала создаем таблицы, затем создаем диаграмму БД и после заполняем таблицы.

Для составления отчетов (по приказам, сотрудникам) нам понадобятся совокупные данные из нескольких таблиц. Для этого создадим хранимые процедуры в SQL Server 2005.

Таким образом, на главной форме ИС расположено меню системы учета персонала под названием «Отдел кадров». С его помощью мы можем перейти к формам: «Справочники», «Сотрудник», «Документы», «Отчеты».

Когда пользователь (менеджер по персоналу) перейдет к форме «Сотрудник» (рис. 2), он сможет наблюдать таблицу со всеми данными сотрудников предприятия; добавлять новых сотрудников в специальные поля; редактировать (загружать, обновлять, удалять) существующие данные в таблице сотрудников; выполнять фильтрацию по подразделениям и должностям.

The screenshot shows a window titled 'Сотрудник' with a menu bar containing 'Справочники', 'Сотрудники', 'Документы', 'Отчеты', and 'Выход'. Below the menu is a table with columns: Табельный номер, Фамилия, Имя, Отчество, Дата рождения, Возраст, Пол, Семейное положение, and С. па. The table contains three rows of employee data.

| Табельный номер | Фамилия    | Имя   | Отчество | Дата рождения | Возраст | Пол  | Семейное положение | С. па. |
|-----------------|------------|-------|----------|---------------|---------|------|--------------------|--------|
| 1               | Иванов     | Иван  | Иванович | 02.03.1960    | 50      | муж. | женат              | 38     |
| 2               | Петров     | Денис | Никоевич | 14.07.1979    | 31      | муж. | холост             | 38     |
| 3               | Артемьенко | Мария | Игоревна | 09.12.1990    | 20      | жен. | не замужем         | 38     |

Below the table is a detailed form for the selected employee (ID 1). The form includes fields for: Табельный номер (1), Фамилия (Иванов), Имя (Иван), Отчество (Иванович), Дата рождения (02.03.1960), Возраст (50), Пол (муж.), Серия паспорт (3602), Номер паспорт (259784), Орган выдачи (Автозаводский РУВД), Дата выдачи (13.02.2005), Место прописки (Льва Яшина 8-58), ИНН (128964758), № страх. свид. (124896789), № мед. полиса (12564786), Подразделение (Основное), Должность (Консультант), Стаж работы (30), Электронная почта (ivanov@mail.ru), Национальность (русский), Семейное положение (женат), Отметка о воинском учете (выдан), Военный комиссариат (по Самарской о..), and Телефон (730895). On the right side of the form are buttons: 'Загрузить данные', 'Обновить данные', 'Удалить данные', 'Добавить данные', 'Детализация', and a 'Фильтрация' section with dropdowns for 'Подразделение' and 'Должность', and buttons 'Фильтрация' and 'Отменить фильтрацию'.

Рисунок 2 – Форма «Сотрудник»

Кнопка «Детализация» позволяет просмотреть дополнительные данные по сотруднику.

Если пользователю понадобится сформировать приказ для конкретного сотрудника, он сможет это сделать перейдя на форму «Приказ». Здесь же предоставляется пользователю возможность вывести приказ на печать (рис. 3).

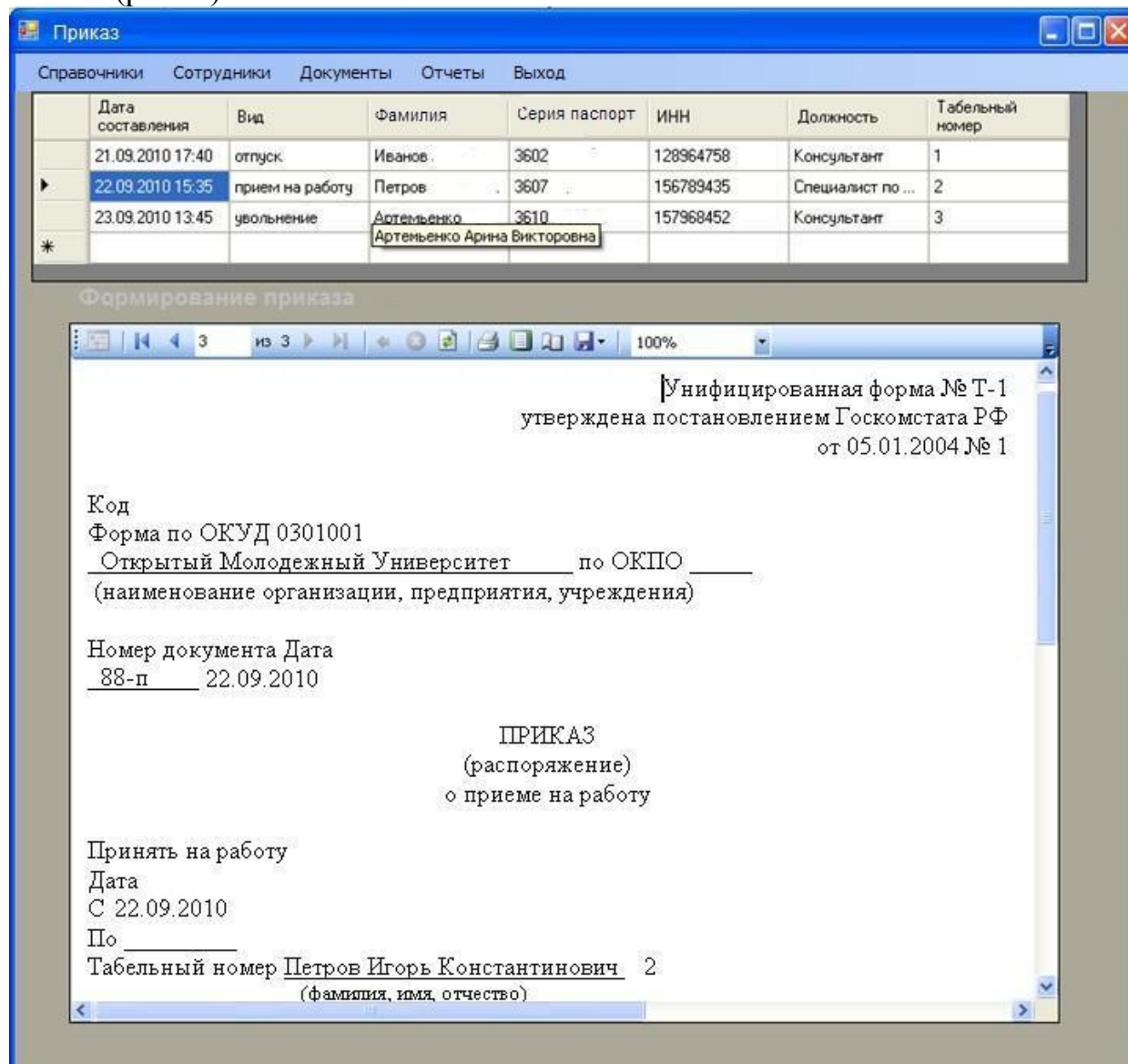


Рисунок 3 – Форма «Приказ»

Данная ИС «Учет персонала» является хорошим помощником менеджеру по персоналу, т.к. легка в использовании, содержит полный набор данных, необходимый кадровому отделу организации и содержит дополнительные возможности (формирование приказа).

#### Библиографический список

1. Тихомиров Ю.В. Microsoft SQL Server 7.0: разработка приложений. – СПб. БХВ – Санкт-Петербург, 1999 – 352 с.

2. Пауэрс Л. Microsoft Visual Studio 2008 – БХВ-Петербург, 2009 – 1191 с.

УДК 004.896

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЛОННОЙ СИНТЕЗА АММИАКА**

**Торопов Д.В.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Кулаков С.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Для повышения эффективности сложных, недостаточно изученных технологических процессов можно использовать экспертную систему, разработанную на основе опыта управления данными процессами, накопленного специалистами обслуживающими, эксплуатирующими и контролирующими исследуемый технологический процесс. Данные процессы встречаются во многих отраслях производства, в том числе и в химической промышленности.

Одним из таких процессов является процесс производства аммиака в агрегатах типа АМ-76. Для управления агрегатом производства аммиака цеха «Аммиак – 2», КООАО «Азот» используется распределенная система управления CENTUM CS 3000 фирмы Yokogawa. Диспетчерский уровень управления АСУ ТП включает в себя пять автоматизированных рабочих мест, четыре из которых используются для «ручного» управления определенными группами технологических участков производства аммиака и один АРМ старшего оператора (начальника смены) применяется для контроля и управления всем производством. Для построения экспертной системы управления выбрано АРМ оператора участка синтеза аммиака, включающего трехполочную колонну, теплообменники, сепараторы и другое оборудование.

В результате проведенного анализа было определено, что текущий «ручной» режим управления не всегда являются наилучшим для складывающихся производственных ситуаций. Это особенно характерно для операторов, не имеющих достаточного опыта управления колонной. Качество управления во многом определяется опытом, интуицией и собственными представлениями оператора о процессе.

После формирования экспертной группы из числа опытных специалистов (заместитель начальника цеха, начальники смен, технологи-операторы участков) была проведена серия опросов и совещаний со всеми членами группы. По результатам обсуждения и анкетного опроса экспертов были определены технологические переменные, которые следует

использовать в экспертной системе при выработке режимных управляющих воздействий (температура: на первой – Т602, Т604; на второй – Т605, Т606, Т607; на третьей полках колонны – Т608, Т609, Т610, Т611; газа на выходе из колонны – Т615, свежего циркуляционного газа на входе в колонну – Т601; первые производные трендов указанных технологических переменных). Выполнено ранжирование технологических переменных в выделенных группах, в зависимости от степени влияния на них соответствующих управляющих воздействий: изменение положения заслонки байпасной линии первой полки колонны – TCV604, заслонки байпасной линии второй полки – TCV605, заслонки первой байпасной линии третьей полки – TCV608, заслонки второй байпасной линии третьей полки – TCV611, заслонки подачи природного газа в колонну синтеза аммиака TCV606. На основе результатов обработки данных анкетного опроса экспертов сформированы лингвистические переменные и определены их параметры.

Для управления колонной синтеза, исходя из анализа предыстории работы АСУТП, достаточно использовать в качестве лингвистических переменных средние значения температур по полкам:

$$\tilde{T}_1 = 1/2 \cdot (T_{602} + T_{604}) \quad (1) \quad \tilde{T}_2 = 1/3 \cdot (T_{605} + T_{606} + T_{607}) \quad (2)$$

$$\tilde{T}_3 = 1/2 \cdot (T_{608} + T_{609}) \quad (3) \quad \tilde{T}_4 = 1/2 \cdot (T_{610} + T_{611}) \quad (4)$$

При обработке результатов опроса экспертов использовались методы математической статистики, согласованность их мнений оценивалась по коэффициенту конкордации и критерию Пирсона.

Для учета разницы опыта опрашиваемых специалистов (экспертов) была произведена ранжировка участников экспертной группы внутри группы в зависимости от опыта, результаты опроса представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результат опроса экспертной группы с присвоением ранга экспертам

| Эксперт                     | Обозначение | Оценки, присвоенные экспертам |     |     |     |     |     |    |    | Ранг эксперта |
|-----------------------------|-------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|---------------|
|                             |             | M1                            | M2  | M3  | M4  | M5  | M6  | M7 | M8 |               |
| заместитель начальника цеха | M1          | -                             | 1   | 1   | 5,5 | 5   | 6   | 1  | 6  | 0,275         |
| начальник смены             | M2          | 7                             | -   | 2,5 | 7   | 5,5 | 5,5 | 6  | 7  | 0,173         |
| начальник смены             | M3          | 1                             | 2   | -   | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 6  | 5  | 0,230         |
| начальник смены             | M4          | 2                             | 3   | 2,5 | -   | 4   | 4   | 6  | 4  | 0,275         |
| оператор ДПУ                | M5          | 5                             | 5,5 | 5,5 | 1   | -   | 5   | 3  | 1  | 0,269         |
| оператор ДПУ                | M6          | 6                             | 5,5 | 5,5 | 3   | 2   | -   | 3  | 3  | 0,250         |
| оператор ДПУ                | M7          | 3,5                           | 5,5 | 5,5 | 3   | 2   | 6   | -  | 2  | 0,255         |
| оператор ДПУ                | M8          | 3,5                           | 5,5 | 5,5 | 3   | 2   | 7   | 3  | -  | 0,237         |

Каждый эксперт получил от других членов экспертной группы оценку своего опыта (от «1» до «7», «1» - наивысшая оценка). Ранг эксперта присваивался согласно формуле:

$$\alpha_i = n / \sum_{i=1}^n A_i, \quad (5)$$

где  $A_i$  – оценка опыта эксперта, по мнению  $i$ -го эксперта,  $n = 7$  – количество опрошенных экспертов.

Для определения лингвистической переменной необходимо определить множество ее термов, множество соответствующих функций принадлежности, расположенных в определенном диапазоне численной шкалы. Эксперты, в ходе анкетирования, присвоили численные значения только 5 из 7 предложенных определений диапазонов температур. Максимум функции принадлежности был определен методом средневзвешенного значения, в качестве весовых коэффициентов в котором использовались численные значения рангов экспертов:

$$T_{max} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \alpha_i} \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot T_i, \quad (6)$$

где  $m$  – количество опрошенных экспертов,  $\alpha_i$  – ранг эксперта,  $T_i$  – численное значение, по мнению  $i$ -го эксперта, соответствующее максимуму функции принадлежности выбранного терма.

Диапазон изменения значений функций принадлежности подбирался исходя из статистических данных, накопленных в АСУТП. Затем указанные диапазоны были согласованы со специалистами цеха. При обработке данных, как и в предыдущем случае, применялся метод средневзвешенного значения, в качестве весовых коэффициентов в котором использовались ранги экспертов.

В ходе совещания с экспертами были сформулированы требования к выбору формы функций принадлежности. Основным критерием для отбора было наличие зоны с малой чувствительностью на изменения входных переменных вблизи вершины (максимума) функции принадлежности. Данным критериям удовлетворяют несколько типов: трапецеидальная форма и гауссова кривая. Окончательный выбор формы функции принадлежности будет произведен в ходе сравнительного анализа эффективности работы системы нечеткого управления при применении различных типов функций принадлежности. Критерием эффективности работы системы служит поддержание такого режима работы агрегата при котором обеспечивается максимальная производительность при ограниченных затратах сырья и энергоресурсов.

Функции принадлежности множества термов одной из переменных показаны на рисунке 1. Точками на рисунке показаны значения указанные каждым из экспертов в качестве максимума соответствующего данному терму.



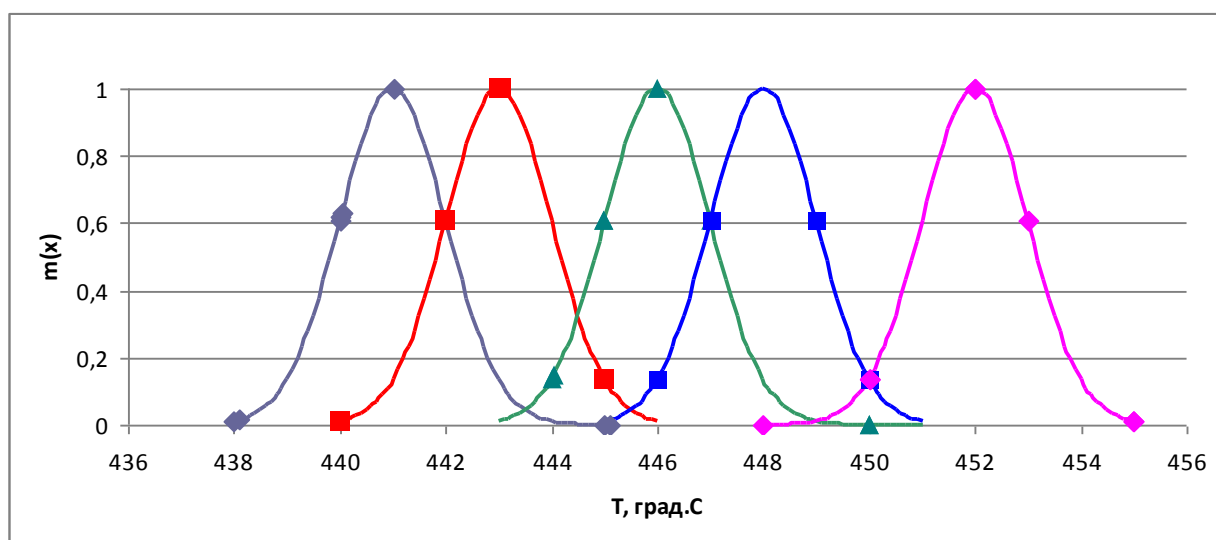


Рисунок 1 – Лингвистическая переменная «температура на первой полке колонны T1»

Второй этап работы посвящен формированию базы знаний экспертной системы управления колонной синтеза аммиака. Построение базы знаний осуществлялось на основе концепции Сугено и Такаги [1]. В соответствии с данной концепцией база знаний, на начальном этапе разработки, представляет собой набор продукционных логических правил, каждое из которых имеет вид структурированного текста, включающего в себя набор условий, логических связей и заключений. Условная часть правила представляет собой сочетание термов лингвистических переменных (температура газа на полках, входе, выходе колонны и скорость ее изменения), а заключительная часть – уравнение, связывающее технологические переменные с искомым управляющим воздействием.

#### Библиографический список

1. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети – Физматлит, 2001. – 221 с.

УДК 004.896

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА АЛЮМИНИЯ

**Шаповалов К.В.**

**Научный руководитель: к.т.н. Трофимов В.Б.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В данной работе рассматривается актуальная прикладная задача

распознавания дефектов поверхности листов алюминиевого проката в процессе производства. Распознавание образов включает две основные задачи: 1) формирование, отбор и ранжирование информативных признаков; 2) собственно классификация (принятие решения о принадлежности дефекта тому или иному классу на основе анализа значения информативных признаков).

*Дано:* 1. Множество характерных цифровых изображений дефектных и бездефектных участков листа алюминия. 2. Библиотека поверхностных дефектов листа алюминия. 3. Системы-аналоги (система со стационарно смонтированными видеокамерами – компания Thyssen Krupp Stahl AG, система инспекции качества полосы проката – компания «ДАТА-ЦЕНТР», система распознавания поверхностных дефектов рельсов – СибГИУ) и система-прототип (система «De Finds»). 4. Государственные стандарты цветной металлургии (ГОСТ 21631-76 – Листы алюминия). 5. Методы и алгоритмы выделения информативных признаков и классификации (Я. З. Цыпкина [4], Ю. И. Журавлева, В. А. Сойфера [3] и других). 6. Аппарат ИНС: многослойный персептрон и алгоритм обратного распространения ошибки. 7. Аппарат ЭС: методика построения продукционной модели знаний IF (условие) THEN (действие). 8. Программный продукт разработки ЭС – Exsys CORVID. 9. Типовые факторы, искажающие изображение поверхности листа (сдвиг, поворот и т.д.). 9. Критерий качества распознавания:

$$Q = \frac{N_{\text{опозн}}}{N_{\text{общ}}}; \quad (1)$$

где  $N_{\text{опозн}}$  – число правильно опознанных дефектов;  $N_{\text{общ}}$  – общее число дефектов в партии. 10. Ограничения: диагностические решения должны приниматься с упреждением на время, достаточное для нанесения отметок на дефектные участки листа; скорость движения листа по рольгангу в зоне контроля не должна превышать 3 м/с.

*Требуется:* разработать алгоритмическое, программное и техническое обеспечение информационной системы распознавания поверхностных дефектов листового проката алюминия, учитывающее заданные ограничения и обеспечивающее максимум правильно опознанных дефектов.

Системой-прототипом является система контроля качества полосы «De Finds», разработанная научно-технической компанией «Малленом». Данная система предполагает разделение полосы на 4 сектора, за каждый из которых отвечает свой блок сбора видеоинформации. Эта система обладает рядом существенных недостатков: дефект, расположенный на пограничных областях секторов может быть опознан неверно; при распознавании не используются морфологические и генетические признаки дефектов; алгоритм распознавания требует большого объема памяти, имеет низкую точность локализации места дефекта на изображении и начинает давать сбои при увеличении числа кластеров, определяя в качестве дефектов фоновые

области [1].

Выявленные недостатки можно устранить следующим образом: применить дополнительные блоки сбора видеoinформации для перекрытия пограничных зон секторов; внедрить более эффективный алгоритм распознавания; разработать экспертную систему, учитывающую генетические и морфологические признаки дефектов.

Предлагаемая техническая структура информационной системы распознавания поверхностных дефектов листового проката алюминия выглядит следующим образом (рисунок 1):

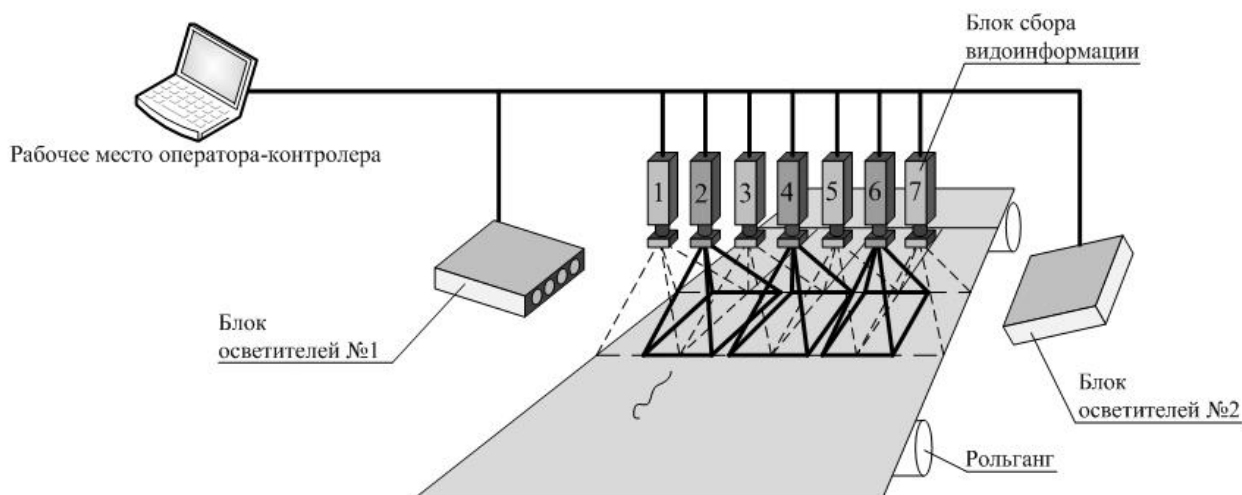


Рисунок 1 – Схема предложенной системы распознавания

Алгоритм работы предложенной системы распознавания (рисунок 1) включает следующие операции [2]:

1. Сканирование поверхности листа при помощи 7 видеокамер и двух блоков подсветки;
2. Разбиение каждого видеосигнала на последовательность непересекающихся цифровых изображений;
3. Представление цифрового изображения в цветовой модели RGB;
4. Преобразование полученного цветного изображения в изображение с нулевым контрастом выполняется по формуле, которая отражает цветовое восприятие человека:

$$S_{nm}(i) = \alpha R_{nm}(i) + \beta G_{nm}(i) + \gamma B_{nm}(i), \quad (2)$$

где  $R_{n,m}$ ,  $G_{n,m}$ ,  $B_{n,m}$  - красный, зеленый, синий компоненты цветовой модели RGB;  $n, m$  – номер строки, столбца изображения;  $i$  – номер изображения (наблюдения);  $\alpha = 0,30$ ,  $\beta = 0,59$ ,  $\gamma = 0,11$ .

5. Минимаксное нормирование (индекс  $H$ ) изображения осуществляется по формуле:

$$S_{nm}^H = \frac{S_{n,m}(i) - S^{\min}}{S^{\max} - S^{\min}}, \quad (3)$$

где  $S^{\max}=255$ , а  $S^{\min}=0$  – максимальное и минимальное значения  $S_{n,m}(i)$ .

6. Адаптивная бинаризация (индекс Б) – «1» - черный цвет пикселя, «0» - белый цвет – осуществляется по следующему правилу:

$$S_{nm}^B(i) = \begin{cases} 1, & \text{если } S_{n,m}^H(i) \leq \delta(i); \\ 0, & \text{если } S_{n,m}^H(i) > \delta(i), \end{cases} \quad (4)$$

где  $\delta(i)$  - пороговый уровень, зависящий от яркости  $i$ -го изображения.

7. Элиминирование факторов, искажающих изображение поверхности листа осуществляется следующим образом: если в заданной окрестности пикселя, у которого  $S_{nm}^B(i)=1$ , все другие пиксели имеют значение  $S_{nm}^B(i)=0$ , то  $S_{nm}^B(i)$  этого пикселя принимается равное нулю.

8. Получение информативного признака путем суммирования бинарных кодов цвета черных пикселей по строкам и столбцам и признака «топология границы»

9. Сшивка соседних кадров, имеющих дефект, расположенный на их границе.

10. Проверка условия присутствия дефекта на поверхности листа (если выполняется, то переход к шагу 11, если нет – к шагу 19).

11. Оценивание принадлежности дефекта  $k$ -тому классу путем подачи на входы ИНС (структура многослойного персептрона) выделенного признака осуществляется по формулам:

$$X_j^H(i) = \frac{X_j(i) - X_j^{\min}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}}; \quad (5)$$

$$Y_p^H(i) = \left[ 1 + \exp \left( - \sum_{m=0}^{100} w_{pm}^{(3)} \left[ 1 + \exp \left( - \sum_{k=0}^{100} w_{mk}^{(2)} \left[ 1 + \exp \left( - \sum_{j=0}^{364} w_{kj}^{(1)} X_j^H(i) \right) \right] \right) \right] \right) \right]^{-1}; \quad (6)$$

$$Y_p(i) = Y_p^{\min} + [Y_p^{\max} - Y_p^{\min}] Y_p^H(i), \quad (7)$$

где  $X_j(i)$  – сумма кодов цвета пикселей по строкам, столбцам (выделенный признак);  $j$  – номер строки, столбца черно-белого изображения;  $i$  – номер наблюдения (изображения);  $Y_p(i)$  – оценка принадлежности  $i$ -го поверхностного дефекта листа  $p$ -му классу;  $p = 1, \dots, 8$ .

12. Проверка условия осмотра всех кадров (если выполняется – переход к шагу 13, если нет – возврат к шагу 3).

13. Отнесение определенного изображения к определенному классу дефектов с учетом дополнительной информации.

14. Проверка условия «Тип дефекта установлен с заданной точностью?» (если выполняется – переход к шагу 18, если нет – к шагу 15).

15. Визуальный осмотр оператором-контролером дефектного участка натурального листа и его цифрового бинарного изображения.

16. Запуск ЭС распознавания поверхностных дефектов, использующей производственную модель представления знаний.

17. Проверка условий «Тип дефекта установлен с заданной точностью?», «Количество повторений больше максимального?» (если выполняется хотя бы одно условие – переход к шагу 18, в противном случае – возврат к шагу 15).

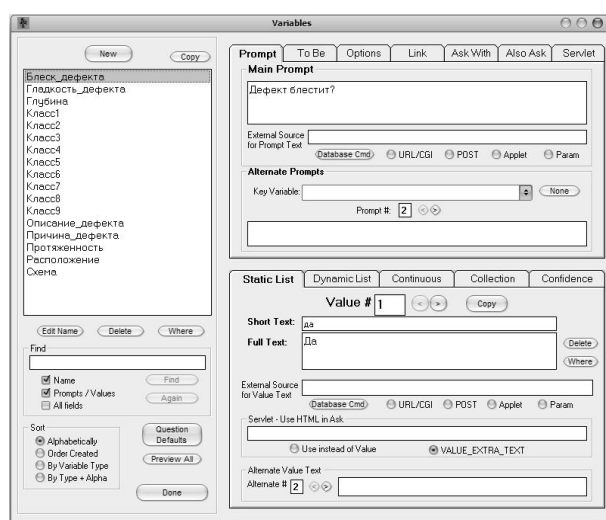
18. Расчет координат и параметров дефектов.

19. Проверка условия обработки всей поверхности листа (если выполняется – переход к шагу 20, если нет – возврат к шагу 3).

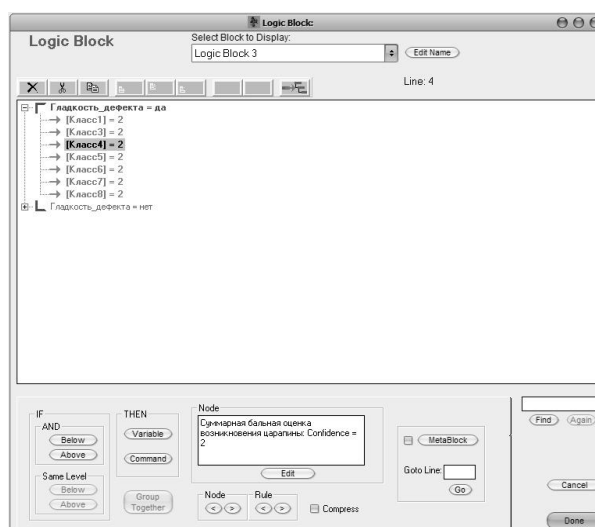
20. Проверка обработки всех изображений поверхности листа (если выполняется – переход к шагу 21, в противном случае – возврат к шагу 3).

21. Регистрация параметров и координат дефекта листа алюминия.

Программная реализация экспертной системы представлена на рисунках 2а и 2б.



а



б

Рисунок 2 – Реализация экспертной системы:  
а – окно переменных, б – окно логических блоков

Работа системы осуществляется в режиме опроса оператора и выдачи конечного результата в виде суммарной балльной оценки вероятности возникновения определенного дефекта. Интерфейс пользователя ЭС представлен на рисунке 3.

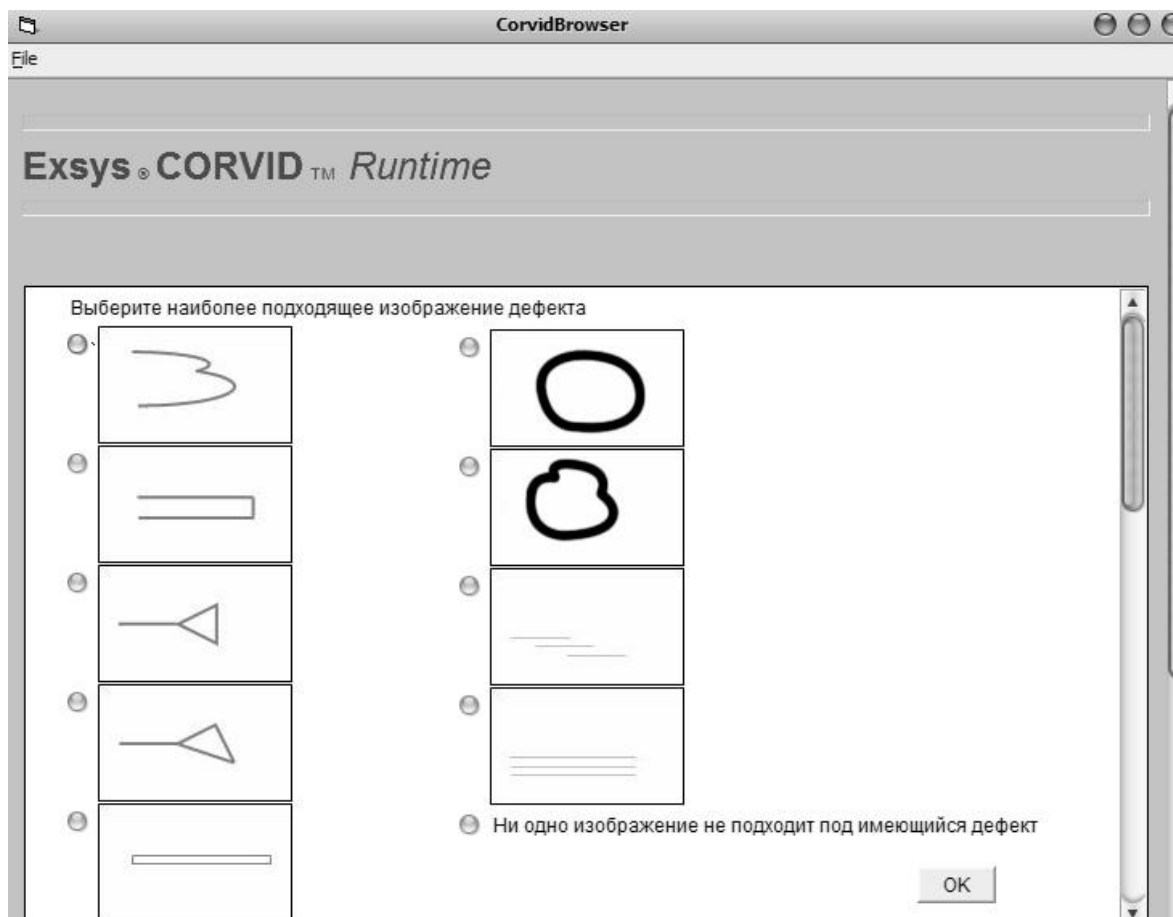


Рисунок 3 – Интерфейс пользователя экспертной системы

Предложенная система распознавания поверхностных дефектов листового проката алюминия в потоке производства обеспечивает более полный контроль всей поверхности листа в режиме реального времени. Результаты ситуационного моделирования системы распознавания с использованием натуральных изображений дефектов, атласов дефектов, показали возможность достижения 90 – 97% правильности распознавания.

#### Библиографический список

1. Еремин С.Н, Ульянов А.Н, Шабалов В.А. Алгоритм обнаружения дефектов листового металлопроката в оптико-электронных ситемах с использованием матриц яркостной зависимости и метода к-средних // Образование, наука, бизнес: особенности регионального развития и интеграции: Труды II межвузовской научно-методической конференции. - Череповец: ИМИТ СПбГПУ, 2003. С. 220-223.
2. Интеллектуальная система распознавания поверхностных дефектов проката/ С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов, Н.Ф. Бондарь, С.В. Чабан// Информационные технологии. – 2008. - №5. – С. 53 – 59.
3. Методы компьютерной обработки изображений. / Под ред. В.А. Сойфера – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
4. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах.– М.: Наука, 1968. – 216 с.

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ВЫБОРА СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОТЛОВАНОВ

Площадная М.С.

Научный руководитель: Магарамова Н.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Цель данной разработки: определение наиболее эффективного варианта комплекта машин для производства земляных работ на основе сравнения технико-экономических показателей. Данная компьютерная программа создана в помощь студентам строительных вузов при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также может быть использована при разработке проекта производства работ в строительных организациях.

Были поставлены следующие задачи:

- создать базу данных строительных машин (экскаваторов, бульдозеров и автосамосвалов), в которой отражены технические характеристики каждой модели;
- сформировать список наиболее подходящих для заданных условий моделей экскаваторов;
- подобрать модель автосамосвала из условия вместимости в его кузов семи ковшей экскаватора;
- рассчитать технико-экономические показатели (удельная себестоимость, удельные приведенные затраты, удельная трудоемкость, продолжительность работы в сменах) по каждому варианту;
- выбрать наиболее эффективный из двух вариантов комплект машин с точки зрения минимальных затрат;
- представить изображения выбранных моделей.

Программа «Оптимизация вариантов производства земляных работ по устройству котлована» разработана в среде программирования Borland Delphi. Окно программы разбито на две части: в левой части находятся три вкладки с исходными данными и выводом всех расчетов, в правой – расположены базы данных строительных машин (экскаваторы, бульдозеры и автосамосвалы). Базы данных созданы в формате *.cds*, при необходимости могут редактироваться с сохранением новой информации.

Исходные данные, необходимые для расчета:

- глубина котлована, м;
- тип грунта;
- дальность перевозки грунта, м;
- тип оборудования и модель экскаватора для первого и для второго вариантов;

- марка бульдозера;
- объемы работ по устройству котлована, а также стоимость работы по уплотнению грунта и переводной коэффициент расценок.

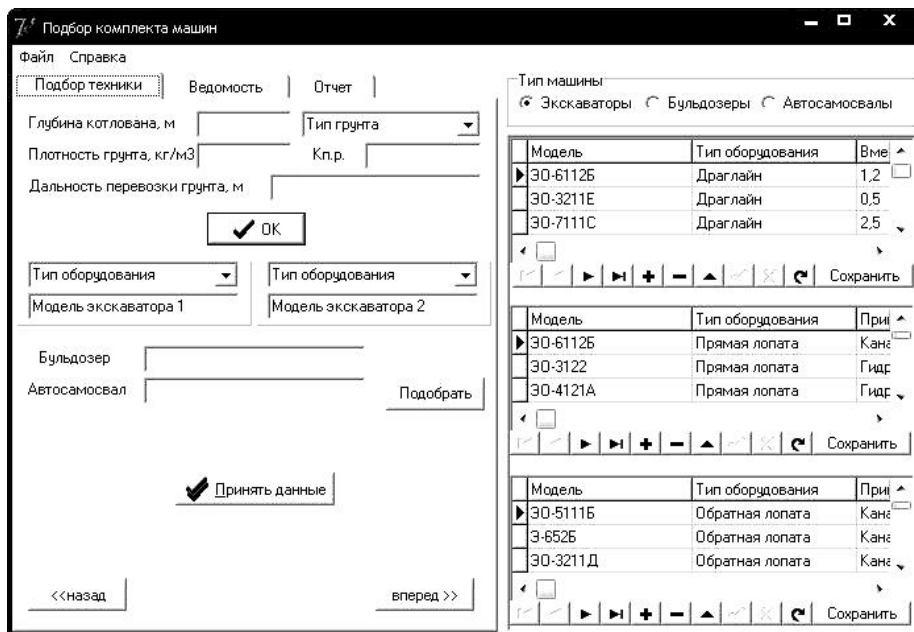


Рисунок 1 – Окно программы

#### Алгоритм расчета.

1. В зависимости от глубины котлована определяется наиболее оптимальная вместимость ковша экскаватора:

$$q = h^3 / 27$$

где  $q$  – вместимость ковша экскаватора,  $m^3$ ;  
 $h$  – глубина котлована.

Оценка вместимости позволяет скратить список моделей экскаваторов в базе данных и оставить в ней лишь те модели, вместимость ковша которых соответствует заданной глубине котлована.

2. Выбор автосамосвала можно сделать самостоятельно или же просто нажать на кнопку «Подобрать» и программа произведет следующий расчет:

$$Q \geq \frac{7 \cdot \gamma \cdot q \cdot 1,15}{k_{п.р}}$$

где  $Q$  – грузоподъемность, т, автосамосвала;  $\gamma$  – плотность,  $t/m^3$ , грунта;  $q$  – емкость,  $m^3$ , ковша экскаватора;  $k_{п.р}$  – коэффициент первоначального разрыхления; 1,15 – коэффициент наполнения ковша для нормальных условий; 7 – количество ковшей экскаватора, вмещаемых в кузов автосамосвала.

Плотность грунта и коэффициент его первоначального разрыхления принимаются в зависимости от выбранного типа грунта, а также могут вводиться пользователем самостоятельно.



3. Задаются объемы земляных работ, таких как: предварительная планировка площадки, разработка грунта в отвал и с погрузкой, разработка съезда, разработка недобора, обратная засыпка и уплотнение грунта. Для каждого вида работ необходимо ввести норму времени, воспользовавшись «ЕНиР.Сборник Е2.Земляные работы».

Переводной коэффициент расценок (или коэффициент перехода в текущие цены) необходим для более точного расчета и получения реального значения удельной себестоимости работ. Данный коэффициент учитывает изменение расценок по сравнению с годом выпуска таблиц ЕНиР и текущим годом.

4. Комплект машин состоит из одного экскаватора, одного бульдозера и нескольких автосамосвалов. Количество автосамосвалов рассчитывается следующим образом:

$$N = \frac{T_{ц}}{T_{пл}}$$

где  $T_{ц}$  – время, мин, цикла автосамосвала;  $T_{пл}$  – время, мин, задержки на площадке;

$$T_{пл} = t_n + t_{м.п.}; T_{ц} = t_n + t_{пути} + t_p + t_{м.п.} + t_{м.р.}$$

где  $t_n$  – время, мин, погрузки автосамосвала;  $t_{пути}$  – время, мин, пробега в оба конца;  $t_p$  – время, мин, разгрузки автосамосвала на отвале;  $t_{м.п.}$  – время, мин, маневрирования при погрузке;  $t_{м.р.}$  – время, мин, маневрирования при разгрузке;

$$t_n = \frac{n \cdot t_{ц}^{экс}}{60}$$

где  $n$  – количество ковшей помещаемых в кузов;  $t_{ц}^{экс}$  – время, сек, цикла экскавации;

$$n = \frac{Q \cdot k_{np}}{\gamma \cdot q \cdot 1,15}; t_{пути} = \frac{120 \cdot l_{mp}}{V_{cp}}$$

где  $l_{тр}$  – дальность, км, транспортировки;  $V_{cp}$  – средняя скорость, км/ч, автосамосвала (40км/ч);

5. Техничко-экономическое сравнение производится по следующему алгоритму:

Удельная себестоимость разработки грунта, руб/м<sup>3</sup>, определяется как отношение себестоимости земляных работ  $C$  к их объёму  $V=V_{кот}, V_{съезда}$ , т.е.

$$C_e = \frac{C}{V_{кот} + V_{съезда}}$$

где  $V_{кот}$  – объем котлована, м<sup>3</sup>;  $V_{съезда}$  – объем съезда, м<sup>3</sup>.

$$C = 1,08 \sum_{i=1}^n (C_{м.см}^i \cdot T^i \cdot n^i) + 1,5 \sum_{j=1}^m Z_{пл}$$

где 1,08 – коэффициент, учитывающий накладные расходы на эксплуатацию машин;  $T_i$  – количество смен работы машины вида  $i$ ;  $C_{м.см}^i$  – стоимость машино-смены, руб, каждой машины;  $n_i$  – количество машин вида  $i$ ;  $m$  – количество ручных операций; 1,5 – коэффициент, учитывающий накладные расходы на заработную плату рабочих, занятых ручным трудом;  $Z_{пл}$  – общая заработная плата рабочих, руб, за всё время работы на площадке, не учтённая в затратах на эксплуатацию машин; 1 – количество ручных операций;

$$Z_{пл} = \frac{V_{упл}}{Ед.изм} \cdot P \cdot k_{пер}$$

где  $k_{пер}$  – переводной коэффициент расценок;  $P$  – расценка в соответствии с ЕНиР;

$$T = \frac{V_{кот} + V_{съезда}}{8 \cdot Ед.изм} \cdot H_{вр}$$

где  $H_{вр}$  – норма времени, маш.ч, по ЕНиР; 8 – продолжительность одной рабочей смены, ч;

Трудоёмкость разработки 1 м<sup>3</sup> грунта, чел-ч/м<sup>3</sup>;

$$Q_e = \frac{Q_{полн}}{V_{котл} + V_{съезд}}$$

где  $Q$  – полные трудозатраты, чел-ч/м<sup>3</sup>.

$$Q_{полн} = \sum Q_{мех} + \sum Q_{ручн}$$

$$\sum Q_{Мех} = T_{смены} \cdot m \cdot T'_{i см} = T_{смены} \cdot (m_{экс} \cdot T_{см}^{экс} + m_{бул} \cdot T_{см}^{бул} + m_{авт} \cdot T_{см}^{авт})$$

где  $T_{см}$  – продолжительность работы машин;  $m$  – количество человек, обслуживающих машину.

$$T_{см}^{экс} = \frac{V_{кот} + V_{съезда}}{H_{см.выр.экс}}$$

$$T_{см}^{бульд} = \frac{V_{пл}}{H_{см.выр.бул}} + \frac{V_{нед}}{H_{см.выр.бул}}; \sum Q_{ручн} = V_{упл} \cdot H_{вр}$$

Приведённые затраты, руб/м<sup>3</sup>:

$$P_e = C_e + E_n \cdot K_{уд}$$

где  $E_n=1,12$  – коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (величина обратная сроку окупаемости машины);  $K_{уд}$

- удельные капитальные вложения на единицу годового объема работ.

$$K_{y\partial} = \sum_{i=1}^n C_{\text{онт}}^i \cdot n^i / \Pi_{\text{год}},$$

где  $\Pi_{\text{год}}$  – годовая производительность ведущей машины комплекта;

$C_{\text{онт}}$  – оптовая стоимость;  $\Pi_{\text{год}} = \Pi_{\text{см}} \cdot T_{\text{год}}$ ; где  $T_{\text{год}}$  – количество смен в год;  $\Pi_{\text{см}}$  – сменная производительность, равная норме выработки ведущей машины (экскаватора), равная норме выработки экскаватора.

Экономическая эффективность определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 \pm \mathcal{E}_2$$

где  $\mathcal{E}_1$  – экономический эффект, руб, от снижения себестоимости;

$\mathcal{E}_2$  – экономический эффект от сокращения продолжительности.

$$\mathcal{E}_1 = (C_1 - C_2) \cdot E_n \cdot (K_1 - K_2); K_{1,2} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{\text{онт}}^i \cdot n^i \cdot T^i}{T_{\text{год}}^i}; \mathcal{E}_2 = \frac{0,048 \cdot C_{1,2}}{1,08} \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right)$$

Наиболее эффективным считается вариант, имеющий наименьшие технико-экономические показатели.

Представленная процедура разработана как пробный вариант. В будущем ее можно доработать в соответствии с нововведениями в строительстве. Кроме того, подобным образом можно создать программу, которая будет сравнивать не два варианта, а гораздо больше. Подключением к программе таблиц ЕНиР можно сократить время на поиск и введение данных.

УДК 519:301

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Саломатова Ю.П.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Ляховец М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Под социальной сетью [2, с. 205] на качественном уровне будем понимать социальную структуру, состоящую из множества агентов (некоторых субъектов) и определенного на нем множества отношений (рисунок 1).

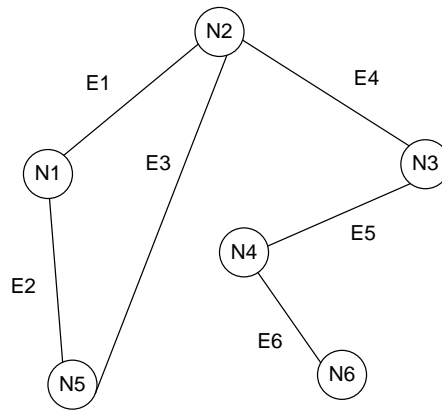


Рисунок 1 – Граф социальной сети

Отношение – совокупность связей между агентами. Формально, социальная сеть представляет собой граф  $G(N,E)$ , в котором  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  – множество вершин (агентов) и  $E$  – множество ребер, отражающих взаимодействие агентов. Под влиянием понимают [2, с. 240] процесс и результат изменения индивидом поведения другого субъекта, его установок, намерений, представлений и оценок в ходе взаимодействия с ним. Влияние – способность воздействовать на чьи-либо представления или действия. Различают направленное и ненаправленное влияние. Направленное (целенаправленное) влияние – это влияние, использующее в качестве механизмов воздействия на другого субъекта убеждение и внушение. При этом субъект влияния ставит перед собой задачу добиться определенных результатов (например, выбора определенных действий) от объекта влияния.

При рассмотрении моделей социальных сетей также учитывается информированность агентов (то есть та информация, которой они владеют на момент принятия решений) [3, с. 64].

Система-прототип входит в класс теоретико-игровых моделей информационного противоборства [4, с. 13] и основана на моделях цепей Маркова.

Вне сети существует два игрока с противоположными интересами, цель одного из игроков заразить сеть (распространить свое мнение во всей сети), цель второго – противостоять заражению (остановить распространения мнения первого игрока). Игра проходит в нормальной форме с одинаковой информированностью игроков. Выигрыши игроков рассчитываются по формулам (1), (2) и (3):

$$f_{ij} = - \sum_{k \in \delta(i,j)} a_k - c_i \quad ; \quad h_{ij} = \sum_{k \in \delta(i,j)} b_k \quad ; \quad f_{ij} = \sum_{k \in \delta(i,j)} a_k - c_i.$$

Цель работы: исследовать комплекс моделей и характер различия конфликтных ситуаций в условиях выполнения ограничений и максимизации критериев.

Для исследования сети разработана имитационная система

информационного противоборства. В имитационную систему входят: два игрока (их характеристиками является функция полезности и стратегия), сеть, состоящая из конечного числа агентов и связей между ними, и комплекс моделей распространения мнений в сети.

Модели влияния в данной системе делятся на два вида: без учета свойств агентов и с учетом свойств агентов. Первая группа позволяет исследовать такие зависимости как: скорость распространения мнений от выбора стратегий игроками, от порога чувствительности и степени влияния агента на своих соседей, изменение стратегий игроков от ценности агентов и информированности о составе сети. Вторая группа моделей является развитием первой. Она позволяет исследовать те же вопросы с учетом свойств агента, а также проследить зависимость развития конфликтной ситуации от состава сети. При этом свойства агента определяются через его тип и в зависимости него выбираются коэффициенты порога чувствительности агента, степени влияния и времени на ответную реакцию.

В основе определения типов агентов лежит две методики: методика определения типа темперамента и методика многовариантного типирования интеллекта. Выбор данных методик основан на том, что с их помощью возможно определить свойства личности, характеризующих способ получения, обработки и передачи информации.

Результатом работы стала программная реализация математической модели распространения конфликта в сети.

При исследовании игр, в которых не принимались во внимание характеристики агентов, и выигрыши игроков рассчитывались по формулам (1) и (2), было выявлено, что наличие памяти у агента на инфекцию или излечение дает преимущество инфицирующей или излечивающей стороне. При наличии памяти на инфекцию интервал значений, из которых игрок А может выбирать мониторинг, сокращается. При наличии памяти на лечение игрок А может выбирать любого агента, с которого начнется мониторинг, при этом период мониторинга должен быть равен диаметру сети. Наиболее подвержены заражению сети с малым диаметром, с низкими значениями коэффициентов порога чувствительности и высокой степенью влияния агентов друг на друга.

При полной информированности игроков, с учетом функций полезности наилучшими будут такие стратегии, при которых игрок В успевает заразить большинство агентов сети, а игрок А выбирает максимальный период мониторинга, но при котором сеть не будет заражена полностью.

При расчете выигрыша игрока А по формуле (3), выбор малого периода мониторинга в сети с большим диаметром приведет к тому, что мониторинг будет убыточным.

При проведении игр учитывалось, что ценность агентов для игроков одинакова. При проведении экспериментов без учета данного ограничения заявленные ранее условия остаются. Равновесие Нэша в чистых стратегиях для сетей с полными графами не выполняется.

Основные выводы при работе с моделями распространения мнений, при которых характеристики агентов выбираются с учетом их типа:

1. Скорость распространения инфекции зависит не только от характеристик агентов (порога чувствительности и степени влияния), но и от структуры графа сети;

2. В сетях с большим диаметром распространение мнений проходит медленнее;

3. Стратегия игрока В – игрок, занимающий центровое положение;

4. При учете типов агентов наилучшим выбором для игроков являются экстраверты;

5. Для обоих игроков выгодно, чтобы стратегия игрока А – большой период мониторинга (при игре без учета параметров агентов, этот период составляет диаметр сети минус единица, в игре с учетом характеристик агентов – период мониторинга может увеличиваться до значений, в несколько раз превышающих диаметр сети);

6. При игре с учетом типов агентов для игрока А расположение в сети агента, составляющего его стратегию, не важно.

На основе исследования данной имитационной модели был выдвинут ряд предположений, характеризующих развитие конфликтов при заданных параметрах сети, а также предложен набор правил для выбора стратегий игроков, при выполнении которых сеть приходила в одно из желаемых состояний и учитывалось условие максимизации критериев – выигрышей агентов.

Разработанная имитационная модель позволяет не только проследить как будет изменяться состояние сети в зависимости от заданных параметров, но и предоставляет возможность менять структуру сети, выявляя зависимость изменения развития конфликта от ее состава и свойств. Таким образом, при помощи моделирования различных конфликтных ситуаций возможно выявление наиболее устойчивых к заражению агентов и слабых мест в структуре сети, что позволит заранее предупредить или вовремя устранить конфликт, а это и является эффективным управлением.

#### Библиографический список

1. Буртовая Е.В. Конфликтология: Учебное пособие / Е.В. Буртовая. – М.: Наука, 2002. – 220 с.

2. Губанов Д.А. Модели влияния в социальных сетях (обзор) / Д.А.Губанов, Д.А.Новиков, А.Г.Чхартишвили // Управление большими системами – 2009. – №27. – С. 205-281.

3. Губанов Д.А. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства / Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г.Чхартишвили. – М.:Физматлит, 2010. – 228 с.

4. Губанов Д.А. Об одной модели информационного противоборства в социальной сети / Д.А.Губанов, А.Г. Чхартишвили // Системы управления и информационные технологии. – 2009. - №3. – С. 13-16.

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ООО «ЭЛЕКТРОПРОМ»**

**Воронцова А.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Огнев С.П.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Объектом информатизации является документооборот на предприятии. Движение документов происходит между теми из них, которые создаются реализованной на ООО «Электропром» корпоративной информационной системы «Галактика», а также между теми документами, которые этой системой не обеспечиваются. Корпоративная информационная система «Галактика» ориентирована на автоматизацию решения задач, возникающих на всех стадиях управленческого цикла: прогнозирование и планирование, учёт и контроль реализации планов, анализ результатов, коррекция прогнозов и планов [1, с. 6]. Несмотря на все достоинства, корпоративная информационная система «Галактика» не может в полной мере удовлетворить потребности организации в обеспечении качественного документооборота.

Выявлено, что не всегда достаточно тех прав доступа, которые «Галактика» предоставляет работникам предприятия. Система не поддерживает автоматическую рассылку приказов, объявлений и указов по отделам организации. Вследствие этого возникает возможность удаления или повреждения актуальных документов, которые необходимы для работников предприятия, но которые не предусмотрены системой «Галактика». Кроме того не обеспечивается целесообразное хранение устаревшей информации, оптимальное заполнение дискового пространства, и возникают трудности при перемещении или копировании документов между отделами. Данная система не фиксирует время, затраченное на обработку данных, что приводит к несвоевременному выполнению операций с документами и, тем самым, снижается производительность труда.

Таким образом, основная **цель** работы – создание автоматизированной информационной системы обработки и передачи данных – АИС ОПД. Данная система позволит не только ускорить процесс управления, но и повысить его качество за счет полноты, своевременности и достоверности информации, а также проконтролировать процесс обработки данных.

В настоящее время описанные выше задачи решают с помощью следующих программных средств: файловый менеджер «Total Commander»; система электронного документооборота «DIRECTUM»; система «UMS Docs»; система электронного документооборота «NauDoc»; электронный документооборот «Effect Office»; автоматизированная система управления документами «1С:Архив».

Реализация выше названных систем в ООО «Электропром» является нецелесообразной, так как проблема обработки и передачи данных требует частного подхода к разработке системы и корректному взаимодействию с действующей на предприятии корпоративной информационной системой «Галактика».

Переход от ручного режима к автоматизированной информационной системе является выгодным вследствие того, что действующая система на предприятии является устаревшей.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: построение базы данных; построение автоматизированной информационной системы обработки и передачи данных.

База данных выполняет следующие функции:

- хранение и поддержка в актуальном состоянии: информации об отделах организации, количестве сотрудников, находящихся в каждом отделе, и их должностях; документов и информации об их типах, видах и статусах; информации о последних изменениях документов, которые были внесены сотрудниками организации, а именно о дате последнего изменения, об отделе и сотруднике, корректирующем данный документ; архива документов;

- просмотр на экране монитора информации о документах, необходимых для обработки, передачи и редактирования;

- формирование на основе информации, хранящейся в базе данных, различных отчётов, просмотр их на экране монитора и вывод на устройство печати;

- быстрый поиск в базе данных информации с использованием простых и сложных критериев поиска.

База данных разработана с помощью СУБД MySQL на платформе Windows Server 2003. Она состыкована с имеющейся базой данных в составе корпоративной информационной системы «Галактика». Предусмотрено архивирование документов после окончания работы с ними.

Автоматизированная информационная система обработки и передачи данных (АИС ОПД) разработана с помощью языка программирования РНР. Сотрудники организации загружают систему с помощью браузера Enterner Explorer. Данная система предусматривает взаимодействие и быстрый доступ к программным средствам обработки данных, реализованным в среде программирования Delphi 7.

Автоматизированная информационная система обработки и передачи данных выполняет следующие функции: авторизованный вход пользователей в систему; обеспечение массовой рассылки необходимой документации; приём, обработка и отправка поступающей документации; журнализация документов; регистрация входящих, исходящих и внутренних документов и выполнение информационно-справочной работы по документам.

В АИС ОПД временные задержки при распространении



управленческих документов не превышают одного часа с момента поступления документа в отдел информационных технологий. При этом предусмотрено, что процессу обработки и передачи не подлежат мультимедийные документы.

Критерием эффективности работы АИС ОПД является затраты времени, на передачу документов между отделами, а также время, затраченное на обработку данных. Система предусматривает сравнение заданного времени на обработку одного документа с фактически затраченным временем и введет учёт количества документов, выполненных в срок.

Реализована тесная связь между существующей корпоративной информационной системы «Галактика» и созданной АИС ОПД. Данная связь представлена на рисунке. Тесная связь между КИС и АИС ОПД позволит увеличить производительность труда, высвободить время сотрудников и, тем самым, сократить время, затраченное на поиск, обработку и передачу данных, и увеличить время работы с «Галактикой».

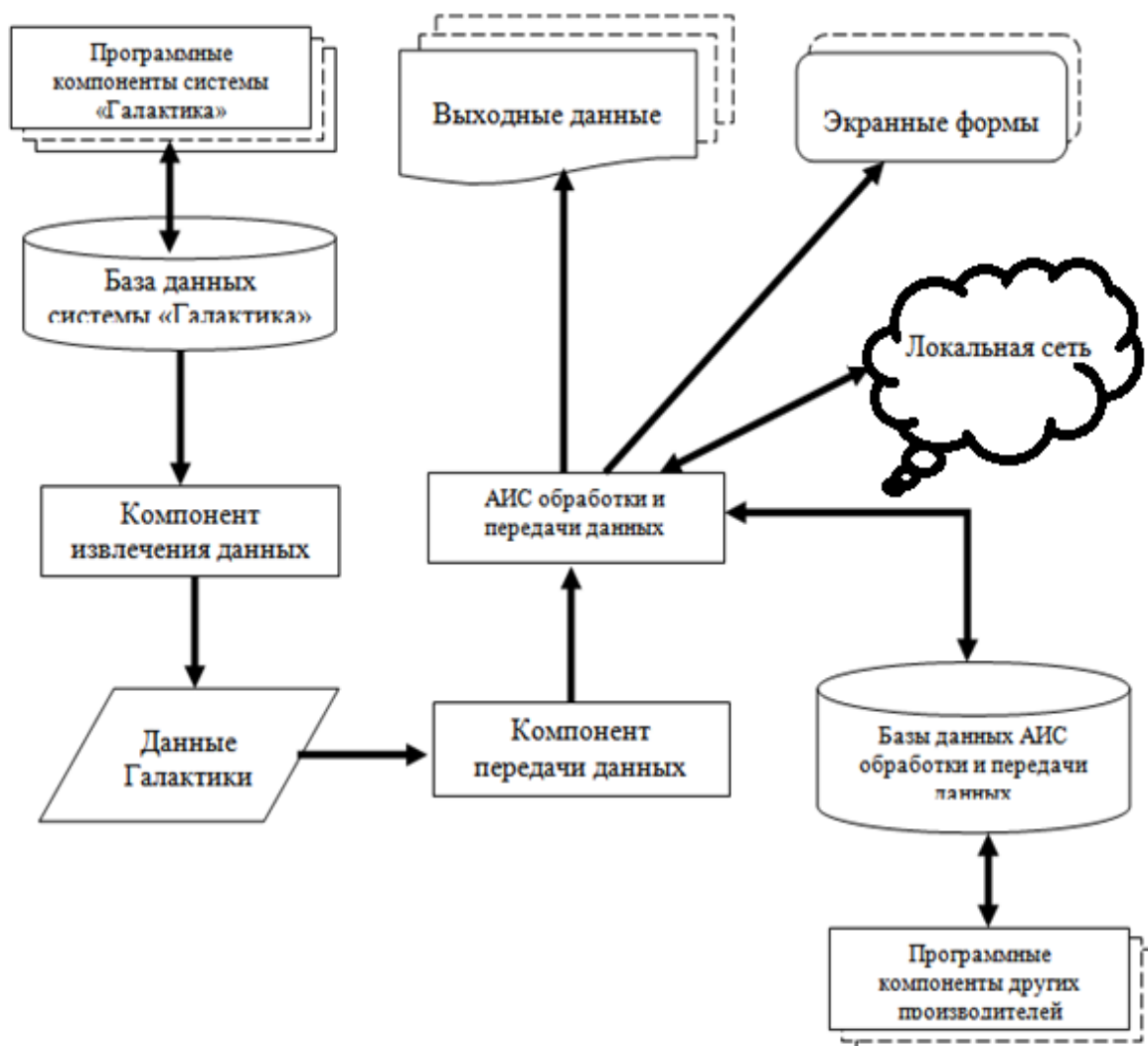


Рисунок 2 – Схема взаимодействия «Галактики» с автоматизированной информационной системой обработки и передачи данных

## Библиографический список

1. Технология управления: проблемы и решения. Корпорация «Галактика»: Нормативная документация / ООО «Электропром». – Новокузнецк, 2007. – 95с.

УДК 519.2: 681.3

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЦИКЛОВ КОЛЕБАНИЙ КАРДИОДИНАМИКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ КОМПОНЕНТОВ ИХ СПЕКТРА В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА**

**Степанова Ю.С.**

**Научные руководители: д.м.н., профессор Флейшман А.Н.  
к.т.н., доцент Кораблина Т.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Еще в 1760 г. швейцарский анатом, физиолог и естествоиспытатель Альбрехт фон Галлер заметил, что у здоровых людей интервал от начала цикла одного сердечного сокращения до начала другого не является одинаковым и постоянным. Это явление получило название вариабельности ритма сердца [1].

Результатом регистрации работы сердца является электрокардиограмма (ЭКГ). ЭКГ – это своего рода сигнал, записанный на материальном носителе, который отображает работу сердца.

На стандартной кривой электрокардиограммы выделяют повторяющиеся характерные зубцы. Положительные зубцы называются *P*, *R*, *T*, а отрицательные *Q*, *S*. Расстояние между зубцами *R* соседних комплексов называется *RR*-интервал. На основе электрокардиограммы строится кривая вариабельности сердечного ритма (ВРС): по оси абсцисс откладывается номер кардиоцикла, по оси ординат – значение *RR* интервалов.

Существуют множество способов представления информации ВРС. Среди них принято выделять: статистические показатели; спектральные показатели; нелинейные показатели.

В спектральных характеристиках сердечно - сосудистой системы особое внимание уделено трем частотным диапазонам: 0,15-0,4 Гц, то есть дыхательная волна; 10 – секундным диапазоном 0,05-0,15 Гц, 20-30 – секундные колебания – наиболее медленные в анализируемом диапазоне [2]. В литературе их принято обозначать *HF*, *LF* и *VLF*, соответственно. Спектральные показатели выделяются из кривой вариабельности ритма сердца, как правило, при помощи быстрого преобразования Фурье.

Успешное развитие прикладных направлений исследования ВРС привело к необходимости применения новейших методов математической

обработки сигналов, в частности, применение методов нелинейной динамики, а современные технические средства позволяют существенно повысить информативность сигнала ВРС и снизить время обработки сигнала.

Однако, помимо приведенных выше способов, существует еще один метод анализа ВРС - геометрический метод анализа нелинейных хаотических колебаний кардиоритма – построение фазового портрета.

*Фазовый портрет* - совокупность фазовых траекторий, характеризующих состояния и движения динамической системы.

Алгоритм построения картины нелинейной хаотической структуры ритма сердца заключается в отображении на осях фазовой плоскости числового значения *RR*-интервала (на горизонтальной), и приращения величины *RR*-интервала (на вертикальной линии) с последующим соединением полученных точек.

Методика построения фазовых портретов (ФП) описана в многочисленных работах, в том числе В.С. Анищенко с соавторами (1999), и др. [3].

У фазовых портретов есть одна отличительная особенность, которая выделяет их среди других показателей и делает их предпочтительными для оценки ВРС – фазовый портрет содержит ряд «накопленных» данных, давая, тем самым, большее количество информации, чем иные показатели.

Предельный цикл – один из способов, которым может быть представлен фазовый портрет. В медицине считается, что чем более хаотичен фазовый портрет человека, тем лучше его здоровье и устойчивее функциональное состояние. Отсюда вытекает, что предельный цикл «говорит» о нарушениях в работе организма.

В теории динамических систем и дифференциальных уравнений *предельным циклом* векторного поля на плоскости или, более обобщенно, на каком-либо двумерном многообразии называется замкнутая (периодическая) траектория этого векторного поля, в окрестности которой нет других периодических траекторий [4].

Важной характеристикой подобных динамических процессов является *аттрактор*: область фазового пространства, которая притягивает в себе траектории. Аттрактор является одной из форм *предельного цикла* [3].

В лаборатории физиологии медленных волновых процессов были разработаны и апробированы три классификации медленных колебаний ВРС [5]:

- 1) энергетическая;
- 2) нейровегетативного спектрального профиля;
- 3) нелинейных показателей, в частности, фазовых портретов.

Согласно последней классификации выделяют три основных вида фазовых портрета: хаотический; циклический; упрощенный структурно-геометрический.

На основе этих трех видов выделяют три подвида ФП: упрощенно –

хаотический; хаотически – циклический; упрощенно – циклический.

При всей очевидной информативности фазового портрета, а, следовательно, и предельных циклов, количественные предпосылки их формирования не были исследованы. Поэтому, основной **целью** работы являлось изучение одного из нелинейных механизмов изменений функционального состояния сердечно-сосудистой системы и ее нейровегетативной регуляции у здоровых и больных на основе анализа кардиоритма.

Выделены следующие **задачи**:

1. Исследовать предельные циклы (ПЦ) ВРС с точки зрения их структуры, устойчивости, спектрального профиля и места в общей классификации фазовых портретов ВРС.

2. Исследовать процессы синхронизации в 3-х компонентной структуре колебаний ВРС:

а) провести экспериментальные модельные исследования 3-х компонентной разночастотной колебательной системы ВРС с целью выявления уровня доминирования (амплитудного) отдельных частот при формировании ПЦ и появления межчастотной синхронизации;

б) дать математическое описание этой модели.

3. Программно реализовать полученную математическую модель и проверить данные, ранее полученные при анализе кардиоритма исследуемых.

На основе данных, хранящихся в лаборатории медленных волновых процессов, была сформирована выборка, содержащая 450 экспериментальных исследований с 2-мя функциональными нагрузками малой интенсивности. У 200 исследуемых, из 450 в составе выборки фазовые портреты характеризуются наличием устойчивых, ярко выраженных предельных циклов, а оставшиеся 250 исследуемых имеют хаотически – циклические или упрощенно – циклические виды фазового портрета.

Возраст людей, вошедших в выборку, колеблется от 6 лет до 72 лет. Нет существенных половых различий и различий в индексе массы тела (определяется по показателю Кетли).

Для оценки состояния исследуемых пациентов были рассчитаны статистические, спектральные и нелинейные характеристики.

Все исследуемые разделены на четыре группы: пациенты с высоким показателем медленных частот (I группа) –  $VLF$  выше диапазона 30 до 130  $мс^2/Гц$ ; - с низкими показателями спектра (II группа) – все спектральные показатели ниже 30  $мс^2/Гц$ ; пациенты с гиперадаптацией, то есть показателями спектра выше нормы (III группа); люди с показателями, находящимися в диапазоне от 30 до 130  $мс^2/Гц$  (оптимальными показателями) - IV группа. Нормативный коридор изменений амплитуды трех спектральных показателей ВРС был неоднократно описан и обоснован в работах А.Н. Флейшмана [6]:

На основе статистического анализа были выделены следующие

количественные предпосылки образования предельного цикла (ПЦ):

1. Для того чтобы сформировался ПЦ при преобладании приблизительно в равных долях  $HF$  и  $LF$ , необходимо преобладание этих компонент над  $VLF$  более чем в 2 раза. В данном случае показатели высокого и медленно изменяющегося частотных спектров суммируются, за счет чего и происходит образование цикла.

2. Для группы с преобладанием 10-ти секундных ритмов,  $LF$  должно быть больше остальных компонентов более, чем 2,5 раза.

3. В случае если предельный цикл формируется за счет парасимпатической составляющей ( $HF$ ), её преобладание над остальными компонентами должно составлять около 2,3 раза и более.

Выборка для статистического анализа состояла из 450 значений, на основе которых были выделены условия формирования предельного цикла в фазовом портрете variability ритма сердца. Для подтверждения полученных выводов, а также для создания возможных аналогичных случаев, необходимо построить и программно реализовать математическую модель, которая на основе спектральной плотности мощности трех компонент ( $HF$ ,  $LF$ ,  $VLF$ ) формировала бы систему ВРС в виде фазового портрета.

На основе гармонических свойств кривой variability ритма сердца, а также с использованием быстрого преобразования Фурье, была построена математическая модель:

$$\begin{cases} u = A_{HF} \sin(2\pi f_{HF} t + \varphi_{HF}) + A_{LF} \sin(2\pi f_{LF} t + \varphi_{LF}) + A_{VLF} \sin(2\pi f_{VLF} t + \varphi_{VLF}), \\ v = 2\pi A_{HF} f_{HF} \cos(2\pi f_{HF} t + \varphi_{HF}) + 2\pi A_{LF} f_{LF} \cos(2\pi f_{LF} t + \varphi_{LF}) + 2\pi A_{VLF} f_{VLF} \cos(2\pi f_{VLF} t + \varphi_{VLF}), \end{cases}$$

где  $A_{HF}$ ,  $A_{LF}$ ,  $A_{VLF}$  - амплитуды сигнала в соответствующих частотах;

$\omega_{HF}$ ,  $\omega_{LF}$ ,  $\omega_{VLF}$  - угловые частоты сигнала в соответствующих диапазонах;

$\varphi_{HF}$ ,  $\varphi_{LF}$ ,  $\varphi_{VLF}$  - фазовые сдвиги в соответствующих диапазонах;

$\pi$  - константа, равная 3,14;

$t = 0 \dots N$  состояний модели.

В качестве критерия оценки модели выступала среднемодульная ошибка модели. Данные, рассчитанные по построенной математической модели, достаточно близки к реальным данным.

Полученная модель была программно реализована в среде программирования Delphi 7.

Все выдвинутые гипотезы подтверждаются с некоторыми допущениями:

1. В случае, если предельный цикл формируется за счет парасимпатической компоненты ( $HF$ ), ее преобладание над остальными частотами должно быть не менее чем в два с половиной раза.

2. Предельный цикл, формируемый за счет преобладания приблизительно в равных долях  $HF$  и  $LF$  составляющих, формируется

только при больших величинах ( $LF$  и  $HF$  должны быть преобладать над  $VLF$  более, чем в 5 раз) и при этом либо  $LF$  должна быть больше  $HF$ , либо наоборот.

То, что статистические данные отличаются от данных, полученных по модели, подтверждает, что, помимо трех спектральных показателей, на кардиоинтервалограмму (соответственно, и на кардиоритм) влияют и другие показатели (например, давление).

Для того чтобы получить более адекватные модельные данные, математическая модель должна учитывать и ряд нелинейных характеристик.

#### Библиографический список

1. Котельников С.А., Ноздрачев А.Д. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах. - URL: <http://www.multi-med.ru/it.html>; (дата обращения: 25.11.2010).
2. Баевский Р.М. Вариабельности сердечного ритма в космической медицине / Р.М. Баевский // Физиология человека. – 2008. - № 2. - т.28.- С. 123-135.
3. Хаютин В. М. Колебания частоты сердцебиения: спектральный анализ / В.М. Хаютин, Е.В. Лукошкова // ВА. – 2002. - № 26. - С. 79-87.
4. Официальный сайт Белорусского государственного медицинского университета. - URL: <http://www.bsmu.by>; (дата обращения: 25.10.2010).
5. Флейшман А.Н. Методика оценки вегетативных изменений у больных неврологической патологией на основе показателей вариабельности ритма сердца / А.Н. Флейшман. – Новокузнецк, 2010. - 92 с.
6. Флейшман А.Н. Медленные колебания гемодинамики. Теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике / А.Н. Флейшман. – Новосибирск: Наука, 1999. - 264 с.

УДК 004.896

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТРОЛИРУЕМЫХ И ПРИВЕДЕННЫХ К ВЫХОДУ ВОЗМУЩЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**Макаров Г.В.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Евтушенко В.Ф.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Комплекс разрабатывался для решения задач моделирования объектов и систем автоматического регулирования. Конечной целью комплекса является проверка критериев динамического подобия САР и условия тождественности эффектов контролируемых возмущений объекта и его физической модели.

В разработанном на данный момент комплексе рассмотрены системы регулирования по отклонению и система регулирования по контролируемому возмущению. Также в задачи комплекса входила проверка подобия систем при выполнении условия тождественности.

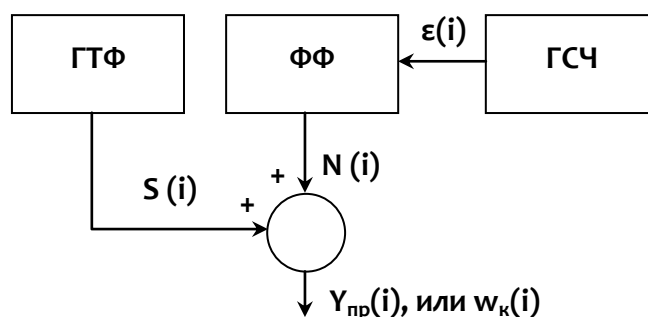
**Перед комплексом ставились задачи:**

1. Формировать приведенные к выходу и контролируемые возмущения с пользовательскими настройками:
  - выбирать закон распределения случайных величин;
  - настраивать формирующий фильтр;
  - по выбору пользователя фиксировать полученные значения;
  - вручную изменять значения в полученном ряде;
  - позволить импортировать значения из файла;
  - рассчитывать некоторые статистические характеристики полученных рядов;
  - добавлять низкочастотную составляющую в возмущение.
2. Формировать ряд случайных чисел по заданной АКФ, в частности по ее времени спада.
3. Вручную задавать параметры модели и системы в целом.
4. Графически отображать полученные значения величин.
5. Сохранять полученные результаты работы комплекса.

Комплекс состоит из 5 основных частей: блока управления, блока расчета критериев, блока формирования контролируемых и приведенных к выходу возмущений, моделирующего блока для системы регулирования по отклонению системы регулирования по контролируемому возмущению.

При создании комплекса было необходимо моделировать приведенные к выходу и контролируемые возмущения, для САР по отклонению и контролируемому возмущению соответственно. В комплексе для этого разработан **блок формирования контролируемых и приведенных к выходу возмущений**.

Модель формирования контролируемых и приведенных к выходу возмущений.



ГТФ – генератор типовых функций, ГСЧ – генератор случайных чисел,  
 ФФ – формирующий фильтр,  $S(i)$  – низкочастотная составляющая,  
 $\epsilon(i)$  – генерирующая некоррелированная последовательность,  
 $N(i)$  – автокоррелированная последовательность

При моделировании возмущений необходимо было решить несколько задач. В частности:

1) генерировать ряд случайных чисел с равномерным распределением («Белый шум»). Функция плотности распределения

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b] \\ 0, & x \notin [a, b] \end{cases}.$$

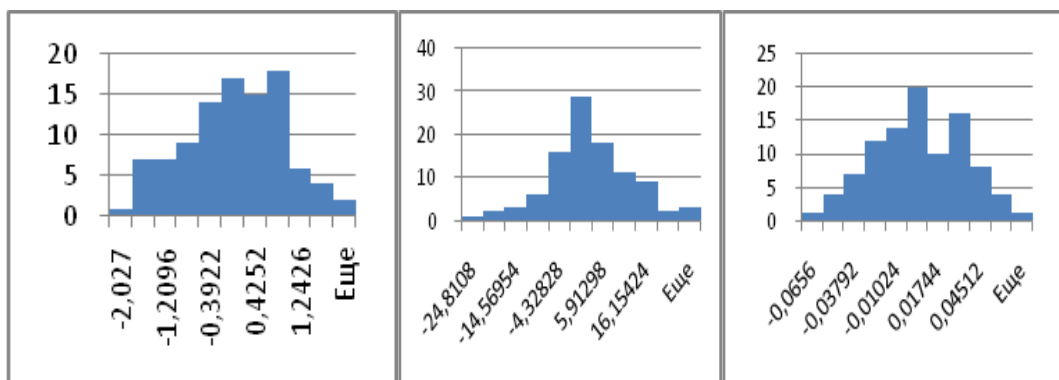
2) генерировать ряд случайных чисел с нормальным, Гауссовским, распределением. Плотность нормального распределения описывается формулой

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

3) выбрать и изучить формирующий фильтр для изменения свойств АКФ ряда.

Генерирование ряда случайных чисел с равномерным распределением достигается достаточно простым способом, с помощью стандартных операторов для генерирования случайных чисел.

Для генерирования ряда с нормальным распределением было рассмотрено несколько алгоритмов для определения наиболее близкого к нормальному распределению – формирование ряда по центральной предельной теореме, по формуле получения ряда чисел с нормальным распределением из двух рядов с равномерным и, в качестве эксперимента, совмещение этих 2-х алгоритмов.



Для достижения эффекта памяти ряда используется формирующий фильтр. В рассмотренных системах-аналогах применяется сглаживающий фильтр. Недостатки этого способа:

- Сильно влияет на среднеквадратическое отклонение ряда.
- Гасит высокочастотную составляющую.

Поэтому был проведен поиск более подходящего алгоритма. И найдена формула авторегрессии:

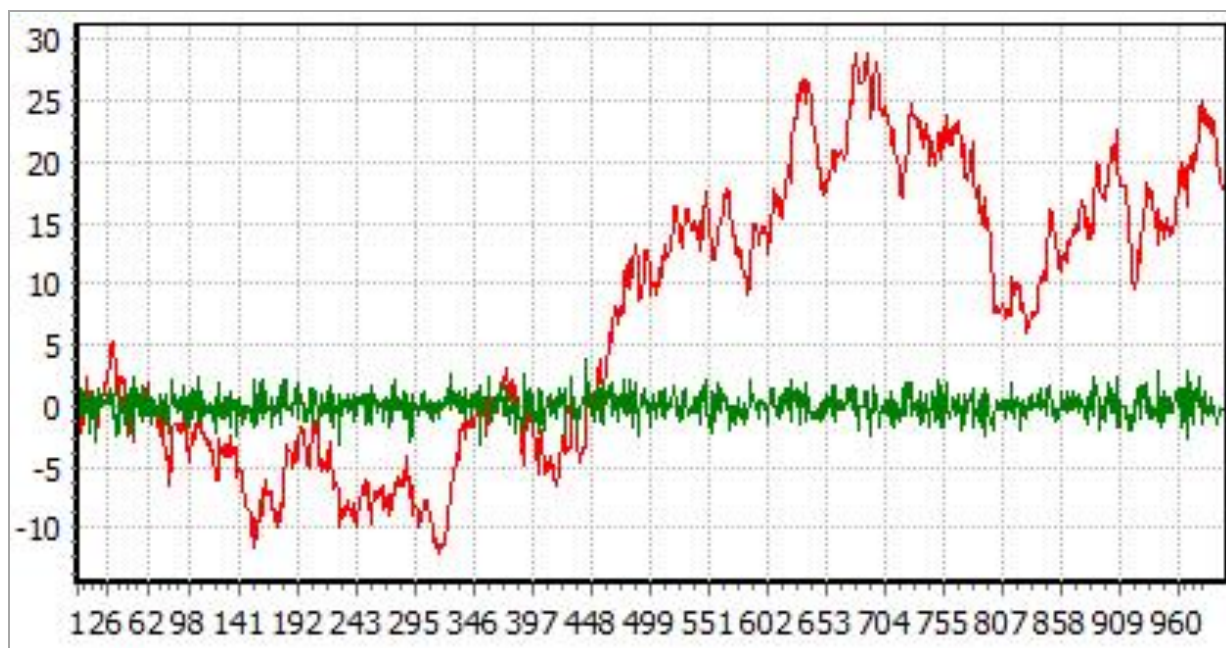
$$N(i) = \alpha \cdot N(i-1) + \varepsilon(i);$$

где  $N$  – автокоррелированная последовательность,  $\varepsilon$  – генерирующая



некоррелированная последовательность,  $\alpha$  – коэффициент авторегрессии.

Данный алгоритм при большом коэффициенте  $\alpha$  сильно влияет на размах последовательности и ее среднеквадратическое отклонение, что создает сложности при проведении исследований.



При формировании возмущений значения могут фиксироваться, чтобы провести с ними дальнейшую обработку – масштабировать, обработать формирующим фильтром, изучить различные статистические свойства в сторонней программе. Это сделано, чтобы исследователь имел возможность подать на вход как объекта, так и модели одинаковый сигнал возмущающих воздействий, как контролируемых, так и приведенных к выходу объекта.

В дальнейшем необходимо провести поиск алгоритма, позволяющего формировать ряд псевдослучайных чисел с заданными свойствами для проведения исследований в большем диапазоне.

УДК 004.896

## **РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА В СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Жилинков В.Е.**

**Научный руководитель: к.т.н., профессор Гулевич Т.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Сегодня технологические измерения представлены широчайшим спектром систем, имеющих свои сферы применения и конкретные назначения. Однако, большинству этих систем присущ один общий

недостаток – непосредственное участие в ходе измерений человека. Этот недостаток имеет весьма значительное влияние как на точность и достоверность результатов измерений, так и на быстроту протекания измерений.

Очевидно, что устранив проблему участия человека в ходе измерений можно существенно повысить качественные показатели результатов проводимых измерений. Так же ясно, что на замену человеку необходимо представить нечто, способное выполнять его функции. На эту роль, подходят современные робототехнические системы. Они лишены всех тех недостатков человека, что в совокупности принято называть человеческим фактором. Устранив в системе измерений недостатки человека, за счет замены его робототехникой, становится возможным повысить повторяемость, точность, достоверность и быстроту протекания измерений. Вторым и немаловажным аспектом в замене человека машиной является повышение безопасности человека за счет вывода его за пределы непосредственного участия в измерениях в опасных условиях, так например, при высоких температурах.

Третьим и так же немаловажным аспектом является распределенность измеряемых величин, а также нелинейность и нестационарность объектов измерения. Например, в большинстве случаев принято считать достаточным измерение температуры лишь в одной информативной точке, а порой провести замеры в большем количестве информативных точек просто невозможно силами человека. Естественно это не дает полноты картины, и искажает сведения, полученные об объекте измерений, а это, в свою очередь приводит к ухудшению качества продукции и даже производственному браку.

Внедрения робототехнических устройств на место человека позволит решить задачу повышения точности, достоверности. Также, за счет гибкого подхода к функционированию, робототехнические системы позволяют учитывать факторы распределенности, нелинейности и нестационарности объекта измерения в ходе работы.

Для решения задач, связанных с изобретением робототехнических устройств непосредственно для измерительных систем, можно взять за прототип типовые конструкции и узлы робототехнических устройств из производственной сферы. Но, как уже упоминалось, они имеют определенное назначение, откуда следует, что для конкретизации конструктивных решений в системах измерения необходимы новые разработки элементов в соответствии с требуемым решением и назначением.

Рассмотрим пример применения механических узлов сборочного робота – манипулятора типа «руки» для контроля качества металлических изделий, выпускаемых методом формовочного литья под давлением. На рисунке 1 представлена упрощенная кинематическая схема робота.

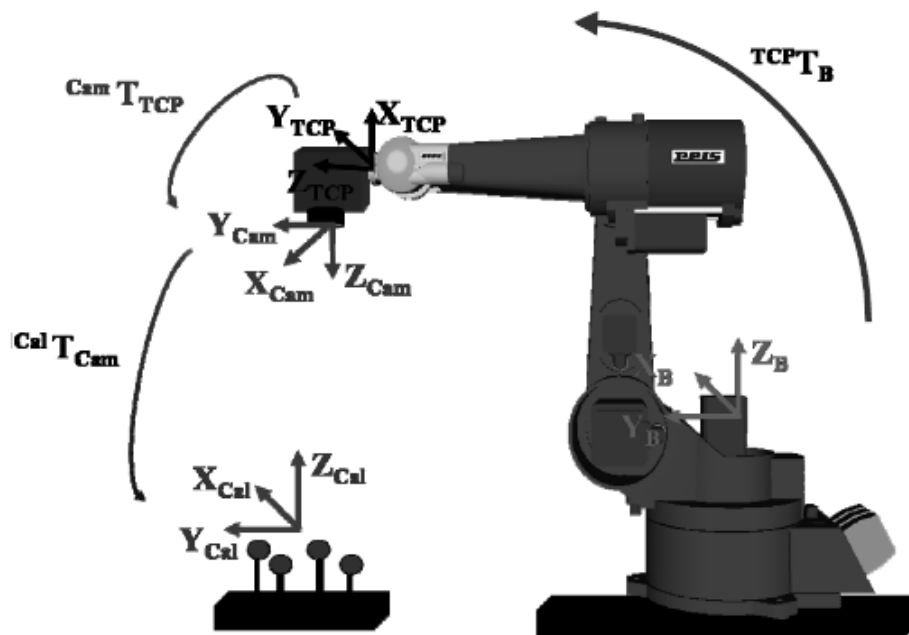


Рисунок 1 – Упрощенная кинематическая схема робота

На представленной схеме: векторы  $\begin{bmatrix} \vec{X}_B \\ \vec{Y}_B \\ \vec{Z}_B \end{bmatrix}$  представляют основную систему координат робота; векторы  $\begin{bmatrix} \vec{X}_{TCP} \\ \vec{Y}_{TCP} \\ \vec{Z}_{TCP} \end{bmatrix}$  представляют систему координат «кисти» робота; векторы  $\begin{bmatrix} \vec{X}_{Cam} \\ \vec{Y}_{Cam} \\ \vec{Z}_{Cam} \end{bmatrix}$  представляют систему координат камеры робота; векторы  $\begin{bmatrix} \vec{X}_{Cal} \\ \vec{Y}_{Cal} \\ \vec{Z}_{Cal} \end{bmatrix}$  представляют систему координат калибровочного объекта; вектор  $\vec{T}_B$  отображает степень свободы вращательного движения основания «руки» робота; вектор  $\vec{T}_{TCP}$  отображает степень свободы вращательного движения кисти робота; вектор  $\vec{T}_{Cam}$  отображает степень свободы вращательного движения камеры робота.

Данный робот предназначен для контроля качества продукции, выполняемого визуального – методом бахромной проекции или иначе – интерферометрии (англ. fringe projection system).

В качестве второго примера рассмотрим систему трехмерного координатного восприятия объектов, предназначенные для их объемного сканирования и дальнейшего получения их представления в виде трехмерной модели. Как правило, такие устройства используются для снятия «цифровой копии» объекта с оригинала с целью дальнейшего копирующего производства или так же для контроля качества выпускаемой продукции. Эти системы представляют собой ручной манипулятор, закрепленный на базе в виде нескольких сочлененных звеньев. Все изменения координат степеней подвижности базы измеряются с помощью встроенных в сочленения датчиков.

Основным рабочим элементом таких систем являются специальные тактильные датчики или лазерные дальномеры, закрепленные на конце манипулятора, существуют и комбинированные варианты. Внешний вид такого устройства представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Координатно-измерительная машина FARO «Edge»

Таким образом, гибкость робототехнических систем позволяет вести учет факторов распределенности измеряемых физических величин, нестационарности и нелинейности свойств объектов измерения в ходе проведения измерительных работ. Различные разработки в области робототехники были рассмотрены и применены в ходе дипломной работы.

УДК 004.896

## **ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

**Шушуева А.А.**

**Научный руководитель: к.т.н. Трофимов В.Б.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Применение компьютерных методов анализа и комплексной интерпретации многофакторной геологической, геофизической,

геохимической и аэрокосмической информации открывает новые возможности для повышения качества и надежности геологических прогнозных и распознающих решений – основы повышения эффективности всего геологоразведочного процесса.

В результате анализа проблемной ситуации сформирована следующая постановка задачи на разработку экспертной системы (ЭС).

*Исходные данные и условия задачи:*

- 1) система-прототип – экспертная система «Prospector» [1-2], системы-аналоги «Регион-ОС» [2] и «Интеррегион» [2];
- 2) база данных первичной полевой информации;
- 3) диагностические таблицы для определения пород [3, 5];
- 4) описание действующей геоинформационной системы ГИКЦ БГРЭ АК «АЛРОСА»;
- 5) нормативно-техническая документация геологоразведочных работ;
- 6) методы и алгоритмы выделения информативных признаков и классификации Я.З.Цыпкина, Ю.И.Журавлева, В.А. Сойфера, А.Л.Горелика, Р.Дуда, П.Харта;
- 7) источники знаний: а) практический опыт специалистов-экспертов (кафедра геологии и геодезии СибГИУ, специалисты БГРЭ), квалифицированно решающих задачу распознавания; б) книги [2-5];
- 8) методика построения продукционной модели представления знаний [6];
- 9) критерий качества распознавания – отношение количества правильно опознанных объектов к общему их числу;
- 10) ограничения на значения информативных признаков распознавания пород.

*Требуется разработать ЭС открытого типа для распознавания состава горных пород, учитывающую заданные ограничения и обеспечивающую желаемый уровень верных решений.*

Для решения поставленной задачи предлагается функциональная структура ЭС (рисунок 1). ЭС функционирует следующим образом: пользователь, желающий получить необходимые данные и знания, через свой интерфейс отправляет запрос к ЭС, а решатель, используя базу знаний (накопленный опыт и знания профессионалов), ищет и выдает пользователю подходящую рекомендацию (результат распознавания – класс пород), комментируя ход своих рассуждений при помощи подсистемы объяснений.

Создание экспертной системы включало выполнение следующих этапов: описание проблемной ситуации, извлечение знаний, структурирование и формализация знаний, программная реализация, моделирование и натурные испытания системы. В качестве основных методов извлечения знаний были использованы: диалоги, интервью с экспертами (опытными геологами), а также анализ нормативной документации.

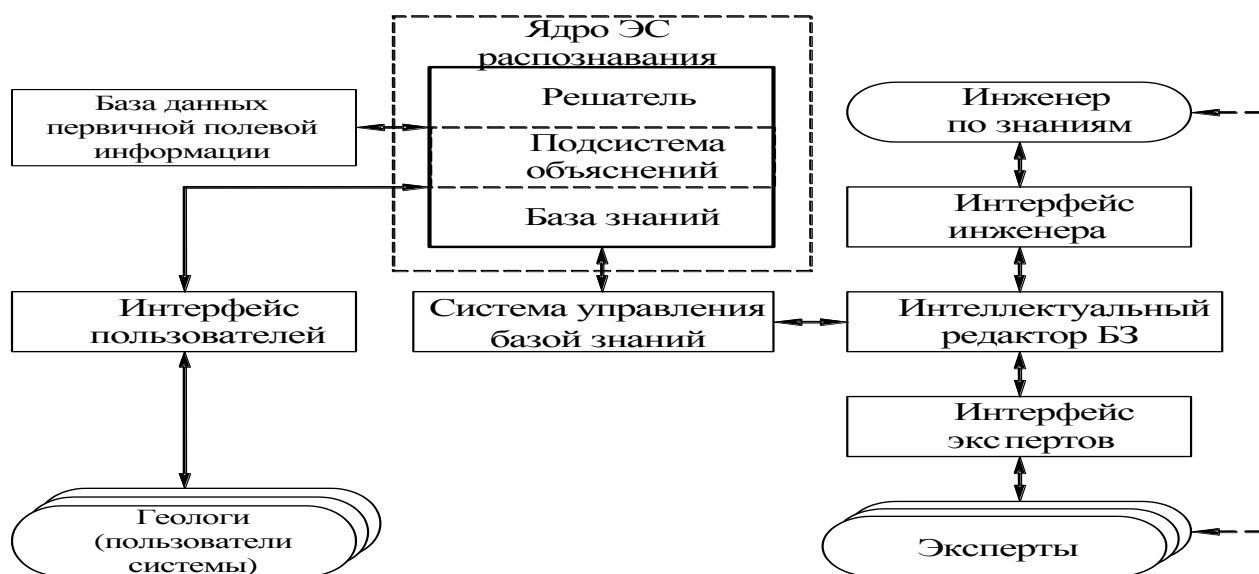


Рисунок 1 – Структура экспертной системы распознавания

В предложенной ЭС использованы продукционные модели (правила) представления знаний типа «IF [условие], THEN [действие]», получившие широкое применение в промышленности. База знаний (БЗ) состоит из набора правил. Программа выбора правила для конкретной ситуации посредством их перебора называется решателем (машиной логического вывода), который работает циклически. В каждом цикле он просматривает существующие факты из базы данных и правила из БЗ, а затем их сопоставляет и выбирает единственное правило, после чего оно срабатывает.

На основе структурирования знаний получены диагностические таблицы (в частности таблица 1), увязывающие различные горные породы с их информативными признаками (структурно-текстурные особенности пород, крупность и форма зерен, процентное содержание минералов и т.д.).

Фрагмент продукционной модели базы знаний ЭС имеет следующий вид: IF [light\_mineral] > 0 AND [light\_mineral] < 5 AND [kvarz] = 0 AND [foidi] = 0 AND [plagioklaz] > 0 AND [plagioklaz] < 5 AND [shpat] = 0 THEN [class1] = 1.1, [class2] = 0.5, [class3] = 0.1, [class4] = 0.1, [class5] = 0.1, [class6] = 0.2, [class7] = 0.4, где [light\_mineral] – процент содержания светлых минералов (в сумме); [kvarz] – процентное содержание кварца в породе; [foidi] – процентное содержание фойидов; [plagioklaz] – процентное содержание плагиоклаза; [shpat] – процентное содержание калиевого полевого шпата; [class1] – глубинная порода группы перидотитов; [class2] – глубинная порода группы габбро; [class3] – глубинная порода группы диоритов; [class4] – глубинная порода группы сиенитов; [class5] – глубинная порода группы гранита; [class6] – глубинная порода группы щелочных сиенитов; [class7] – глубинная порода группы уртитов.

Таблица 1 – Диагностическая таблица для магматических пород

| Порода<br>(классы)  | Светлые<br>минералы<br>(в сумме)<br>(признак 1), % | Кварц<br>(признак 2),<br>% | Фоиды<br>(признак 3),<br>% | Плагиоклаз<br>(признак 4),<br>% | Калиевый<br>полевой шпат<br>(признак 5), % |
|---------------------|--|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|
| Перидотиты          | 0 ÷ 5  | -                          | -                          | 0 ÷ 5                           | -  |
| Габбро              | 35 ÷ 70  | -                          | -                          | 35 ÷ 70                         | -  |
| Диориты             | 60 ÷ 70  | 5 ÷ 20                     | -                          | 30 ÷ 50                         | 5  |
| Сиениты             | 65 ÷ 85  | 0 ÷ 10                     | -                          | 20 ÷ 40                         | 30 ÷ 80                                    |
| Граниты             | 90 ÷ 100   | 15 ÷ 40                    | -                          | 20 ÷ 40                         | 20 ÷ 50                                    |
| Щелочные<br>сиениты | 25 ÷ 100   | -                          | 10 ÷ 80                    | 0 ÷ 30                          | 0 ÷ 60                                     |
| Уртиты              | 30 ÷ 50  | -                          | 10 ÷ 50                    | 0 ÷ 40                          | -  |

Для реализации автоматизированной ЭС распознавания был выбран программный продукт Exsys CORVID [8-9], поддерживающий работу в сети Internet, состоящий из среды разработки Development, включающей логические (рисунок 2), командные блоки, блок «тип переменных», и среды исполнения Runtime (рисунок 3).

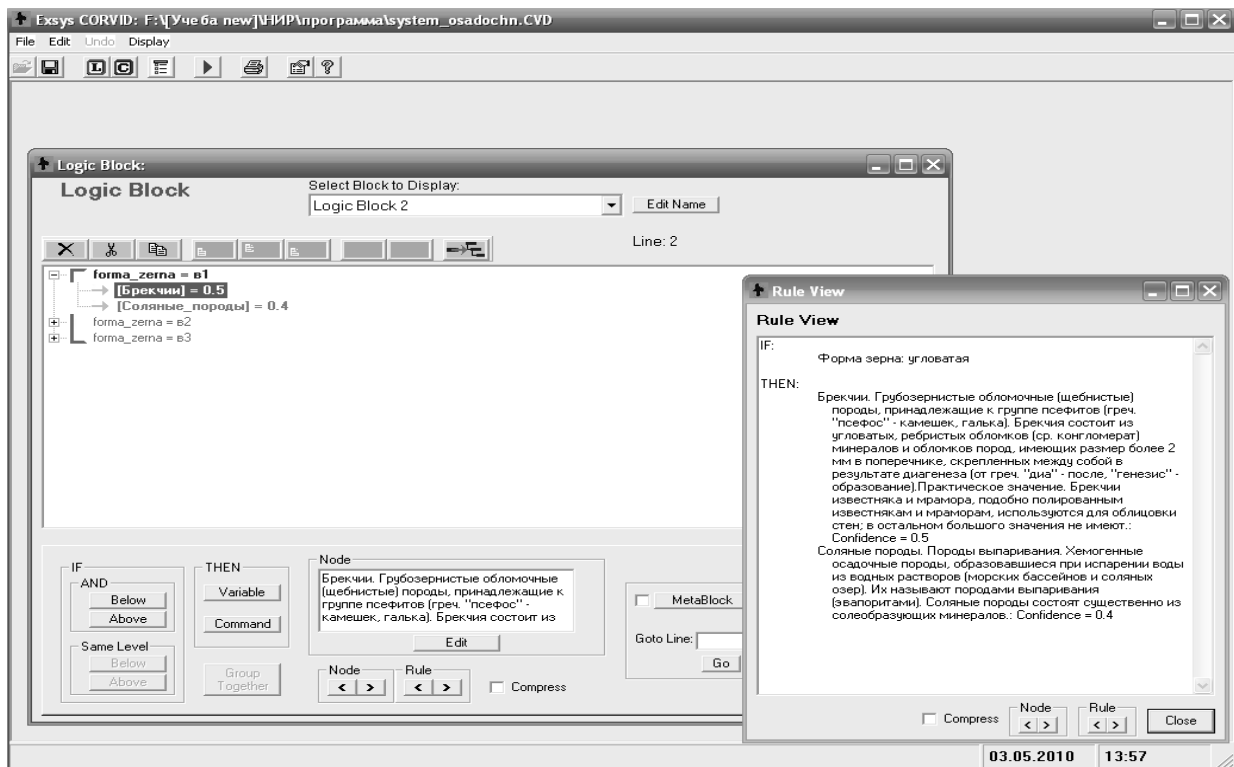


Рисунок 2 – Окно логических блоков ЭС

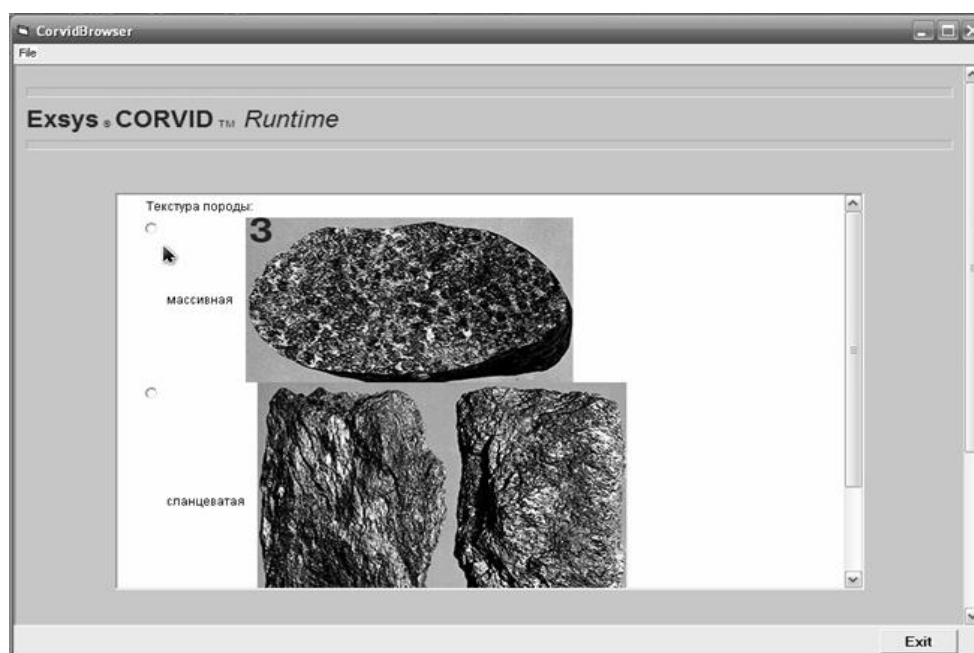


Рисунок 3 – Окно среды исполнения ЭС (интерфейс пользователя)

Получив результаты распознавания, можно проводить дальнейшую индивидуализацию породы, а также получить сведения о ее минеральном составе и практическом применении.

#### Библиографический список

1. Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке Prolog, 3-е издание. – М.: Вильямс, 2004. — 640 с.
2. Марченко В.В. Компьютерный прогноз месторождений полезных ископаемых. / В.В. Марченко, Н.В. Межеловский, Э.А. Немировский. – М.: Недра, 1990. – 285с.
3. Юбельт Р. Определитель пород. / Р. Юбельт, П. Шрайтер. – М.: Мир, 1977. – 240 с.
4. Старостин В.И. Геология полезных ископаемых. / В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 304 с.
5. Миловский А.В. Минералогия и петрография. Учебник для техникумов, издание 4-е. – М.: Недра, 1979. – 439 с.
6. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных системы – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
7. Кулаков С.М., Трофимов В.Б. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика: монография – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 223 с.
8. Awad E. Building knowledge automation expert systems with Exsys CORVID – Charlottesville: University of Virginia, 2005. – 265 p.
9. Муромцев Д.И. Оболочка экспертных систем Exsys Corvid. / Д.И. Муромцев – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. – 69 с.
10. Рундквист Д.В. Металлогения на рубеже веков. / Д.В. Рундквист,



УДК 622.6

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ**

**Лыков В.Е., Кораблин Р.А.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Кораблина Т.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В начале 70х годов использование глобальных сетей ограничивалось передачей файлов и электронной почтой [1, С. 28-29], с развитием технологий развивались и интернет сервисы, среди которых можно отметить наиболее популярные – новостные рассылки, веб-сайты, чаты, форумы, блоги, социальные сети.

В последнее время социальные сети пользуются наибольшей популярностью, согласно официально предоставленной статистике количество пользователей достигло более 600 миллионов человек в социальной сети Facebook, 137 миллионов человек используют, наиболее популярную в России, сеть – ВКонтакте.

Как отмечено в [2] социальная сеть представляет собой автоматизированную социальную среду, позволяющую общаться группе пользователей, объединенных общим интересом, где связь осуществляется посредством веб-сервиса внутренней почты или мгновенного обмена сообщениями.

На основе анализа функциональности социальных сетей, таких как Facebook, ВКонтакте, Мой круг, Мой мир@mail.ru, Одноклассники.ru, установлено, что ни одна из них не предоставляет пользователям возможности организации вебинаров, т.е. проведения веб-конференций в режиме реального времени.

Вебинар - это онлайн-конференция с выступлением ведущего и вопросами слушателей, при этом связь между ними устанавливается через интернет с использованием микрофона и веб-камеры [3].

В настоящее время существует ряд организаций предоставляющих услуги вебинаров. Каждая организация предоставляет пользователям программное обеспечение или веб-сайт в интернете, в качестве площадки проведения вебинара, с определенным набором функций, таких как аудио- и видеоконференции, демонстрация рабочего стола, демонстрация материалов, опросы и чат.

Веб-сайты организаций не являются социальными сетями, они предоставляют услуги по проведению вебинаров на коммерческой основе.

Данные предложения рассчитаны на корпоративный спрос. Основным недостатком является цена, второстепенным недостатком является необходимость установки дополнительного приложения, к примеру Skype.

Предоставление сервиса вебинаров в социальной сети может играть важную роль, как в дистанционном образовании, так и в самообразовании пользователей, при этом стимулом организации и проведения вебинара может быть символическая плата от участников веб-конференции.

Целью работы является разработка программно-алгоритмического обеспечения социальной сети. В процессе декомпозиции данной цели на частные задачи необходимо исходить из архитектуры будущей системы, которая состоит из серверного программного комплекса и клиентского программного обеспечения.

В ходе работы был проведен сравнительный анализ существующих программных продуктов, языков программирования, технологий, сред разработки, средств тестирования среди которых были выбраны наиболее подходящие решения для решаемых задач. Серверный программный комплекс был сформирован из:

- операционной системы Ubuntu Server;
- свободной объектно-реляционной СУБД PostgreSQL;
- сервера компьютерной телефонии Asterisk;
- прокси-сервер NginX.

Укрупненная структура серверного программного комплекса и взаимодействия его составляющих представлена на рисунке 1.

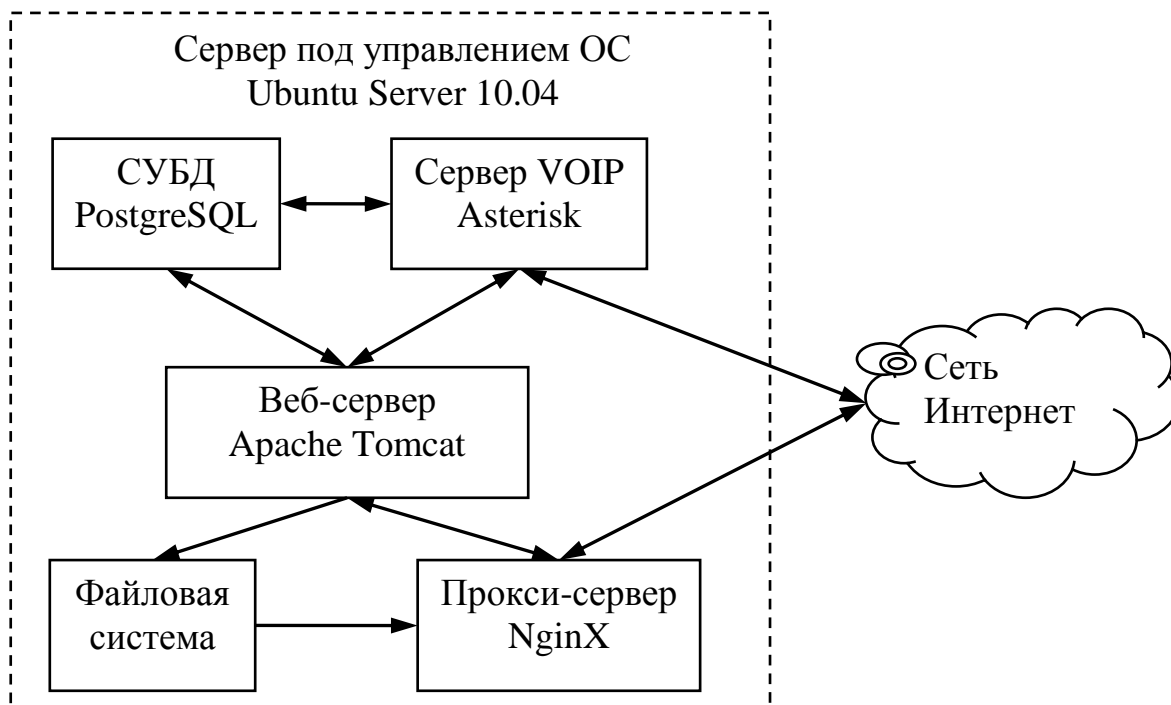


Рисунок 1 – Укрупненная структура серверного программного комплекса

В качестве средств разработки использовались:

- интегрированная среда разработки Eclipse Java EE;

- фреймворк для автоматизации сборки проектов Apache Maven 2;
- объектно-ориентированный язык программирования Java;
- скриптовый язык программирования Javascript.

Средством создания насыщенного веб-приложения был выбран java-апплет, его основное преимущество заключается в том, что Java-апплеты могут выполняться с помощью плагинов браузерами многих платформ, включая Microsoft Windows, UNIX, Apple Mac OS и GNU/Linux.

С целью повышения эффекта процесса разработки применялись следующие библиотеки:

- Spring Framework – свободно распространяемая программная библиотека, предоставляющая средства для конфигурирования и управления объектами Java с помощью обратных вызовов, а также для создания тонких контроллеров обработки ajax-запросов от клиентов;

- Wicket Framework – java-библиотека позволяющая разделить, при разработке веб-приложений, разметку HTML страниц и Java-код. Также предоставляет механизм сессий клиентов и авторизации, которые составляют основу подсистемы разграничения прав доступа пользователей;

- Hibernate – свободное программное обеспечение с открытым исходным кодом, предоставляет лёгкий в использовании каркас для отображения объектно-ориентированной модели данных в традиционные реляционные базы данных;

- jQuery – библиотека JavaScript, фокусирующаяся на взаимодействии JavaScript и HTML. Она помогает легко получать доступ к любому элементу DOM, обращаться к атрибутам и содержимому элементов DOM, манипулировать ими, предоставляет удобный API по работе с Ajax;

- Java Media Framework – java-библиотека, предоставляющая возможности использования аудио и видео в приложениях и апплетах. Это дополнительный пакет, который реализует функционал по захвату, воспроизведению, кодированию, мультиплексированию и демупльтиплексированию мультимедиа потоков различных форматов.

После выбора необходимых решений, была изучена техническая документация по коммуникационной платформе Asterisk и разработаны необходимые алгоритмы, а также сконфигурирована связь с системой управления базами данных PostgreSQL.

К настоящему моменту разработана обобщенная структура сервлета (рисунок 2), реализующего бизнес-логику приложения, согласно которой для каждой подсистемы реализовывались несколько классов модели, соответствующих объектам предметной области и проецируемых в таблицы базы данных, соответствующие им DAO-классы для осуществления операций с базой данных, класс контроллера для обработки клиентских запросов и класс службы, содержащий реализацию бизнес-логики.

Для обеспечения необходимой функциональности были реализованы четыре функциональных подсистемы:

- подсистема управления профилем пользователя является базовой и

реализует функции по регистрации пользователей в системе, проверки авторизации и управлению информацией, содержащейся в профиле;

– подсистема управления контактами пользователя предоставляет функционал, связанный с поиском контактов, их получением и изменением, взаимодействуя при этом с подсистемой управления профилем пользователя, откуда запрашиваются сведения о пользователях;

– подсистема обмена мгновенными сообщениями предоставляет пользователям возможность обмена сообщениями в режиме реального времени, а также возможность прочесть сообщения, отправленные в то время, когда пользователь не был подключен к системе;

– подсистема организации звонков и вебинаров позволяет соединиться двум пользователям между собой в случае звонка или подключиться к вебинару.

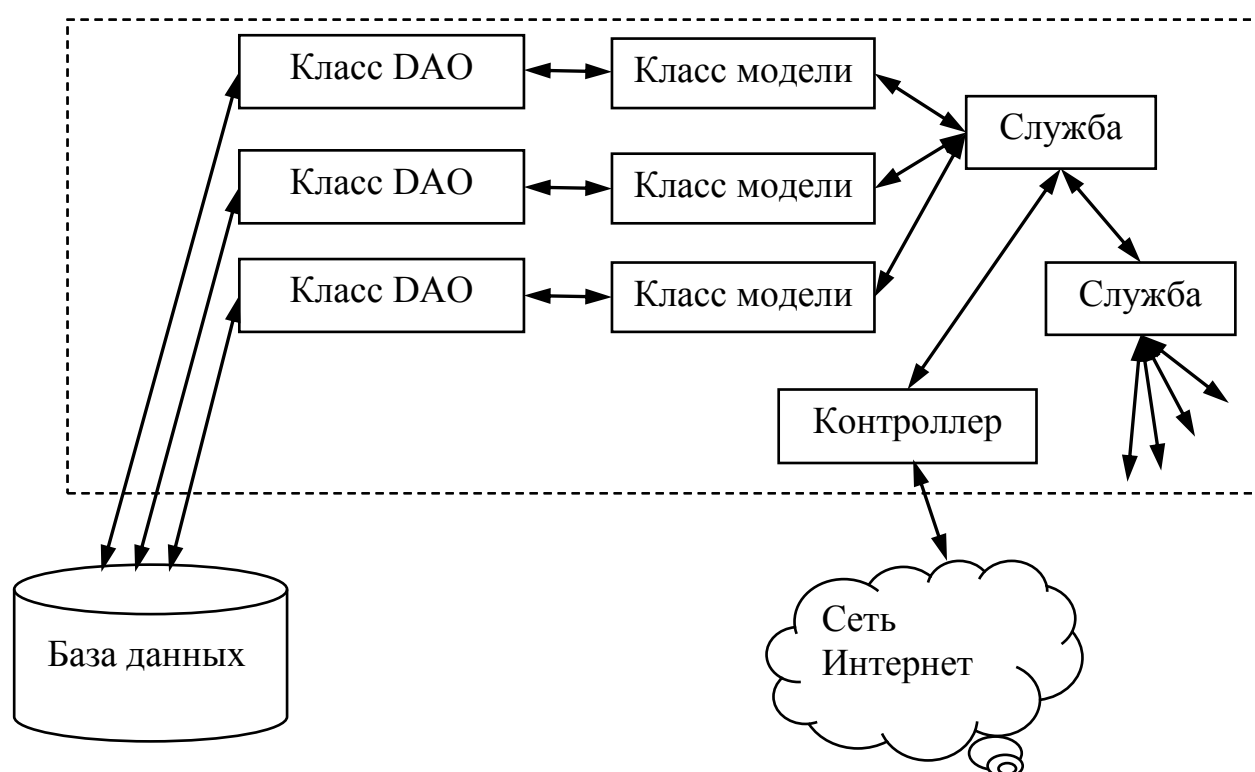


Рисунок 2 – Обобщенная структура сервлета

Также были разработаны две вспомогательные службы: для рассылки электронной почты и для организации comet-взаимодействия между сервером и клиентами.

В ходе работы над клиентским программным обеспечением были разработаны необходимые служебные JavaScript-объекты. Специально для страницы кабинета пользователя реализованы механизмы внедрения апплета, навигации по якорю с заменой панелей в пределах одной страницы, обработке comet-сообщений, распределенной между общим объектом UserService и специализированными обработчиками панелей и диалогов.

Все необходимые страницы и панели кабинета пользователя,

соответствующие основным подсистемам, были сформированы и оформлены при помощи языка разметки HTML и каскадных таблиц стилей CSS, поведение клиентского интерфейса запрограммировано также на языке JavaScript.

Внешний вид страницы пользователя представлен на рисунке 3. Для решения задач SIP-взаимодействия с сервером Asterisk, с устройствами захвата и воспроизведения на клиентских компьютерах, с передачей мультимедиа данных по протоколу RTP был разработан Java-апплет. Для обеспечения возможности его запуска были также сформированы сертификат и цифровая подпись.

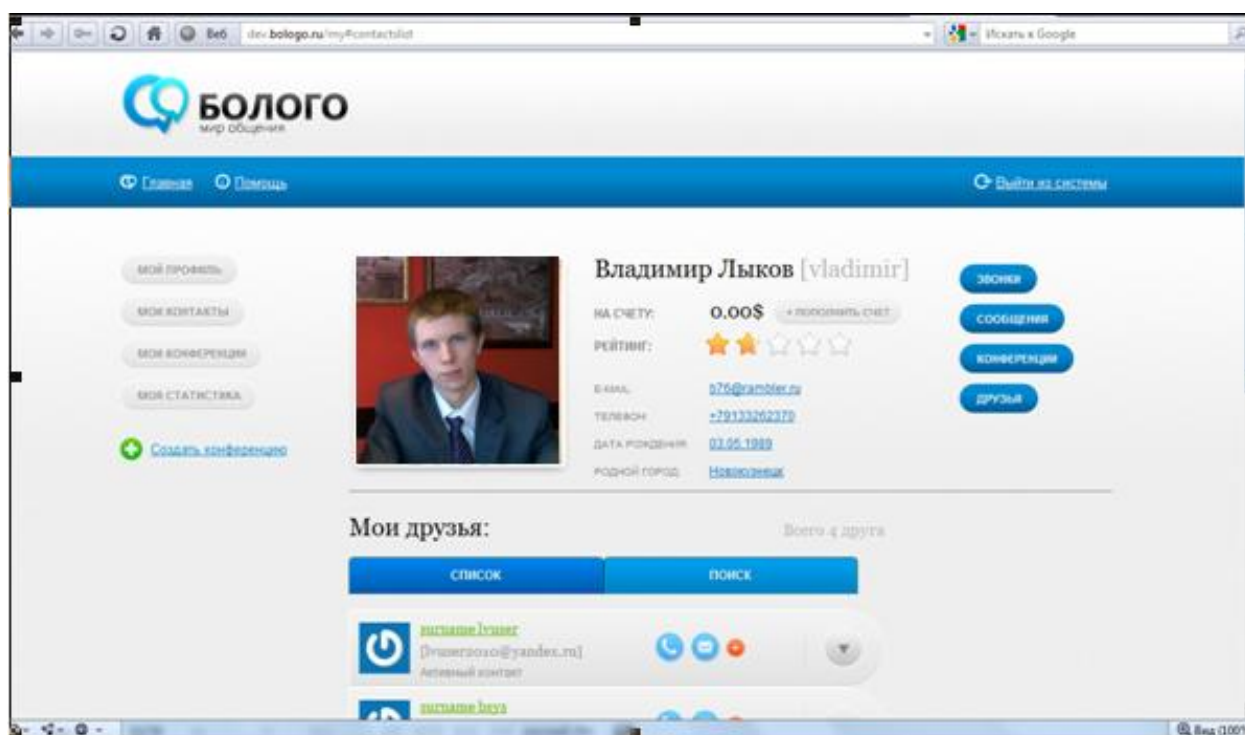


Рисунок 3 – Страница пользователя

В настоящее время оптимизируются алгоритмы функциональных подсистем, далее, главной задачей будет введение дополнительного функционала, такого как система биллинга и монетизация сайта, демонстрации экрана модератора, чат в процессе проведения вебинара, возможность записи вебинара в видео файл и сохранение на сервере, звонки на стационарные и мобильные телефоны.

#### Библиографический список

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. [Текст] / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – 4-е изд. – Спб. : Питер, 2010. – 944 с. : ил. – ISBN 978-5-49807-389-7
2. [Электронный ресурс] Свободная интернет энциклопедия Википедия. – режим доступа

[[http://ru.wikipedia.org/wiki/Социальная\\_сеть\\_\(Интернет\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Социальная_сеть_(Интернет))] Дано определение термина Социальная сеть. (Дата обращения 29.12.2010) – Загл. с экрана.

3. [Электронный ресурс] Свободный словарь. – режим доступа [<http://termin.bposd.ru/publ/3-1-0-28990>] Дано определение термина Вебинар. (Дата обращения 29.12.2010) – Загл. с экрана.

УДК 622.6

## **ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ И ЗАДАЧИ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯМИ**

**Семёнова Е.А.**

**Научные руководители: д.т.н., профессор Кулаков С.М.,  
к.т.н., доцент Зимин В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецка*

Любое предприятие постоянно решает двуединую задачу – движется к достижению своих стратегических целей, и адаптируется к изменениям окружающей среды. При этом долгосрочные цели развития остаются неизменными, а способы их достижения могут меняться в зависимости от изменения обстановки на рынке, в экономике, в законодательстве, и так далее.

Но именно эта способность к изменениям у большинства компаний зачастую отсутствует, ибо они не рассматриваются как объект управления. Если же компания хочет быть гибкой в достижении своих целей, постоянно соответствуя состоянию окружающей среды, ей необходимо уметь управлять изменениями.

**Управление изменениями** (СМ – change management) – процесс, обеспечивающий управление жизненным циклом всех изменений. Этот процесс направлен, прежде всего, на приведение в соответствие возможностей ИТ-сервисов изменяющимся бизнес-потребностям.

Потребность в изменениях сервисов возникает по множеству причин:

- по проактивным причинам, например при поиске бизнес-выгод, таких как сокращение затрат, оптимизация полезности и применимости сервисов или увеличение эффективности процессов поддержки;

- по реактивным причинам, когда необходимо преодолеть ошибки и адаптироваться к изменившимся обстоятельствам.

Изменениями необходимо управлять для того, чтобы:

- оптимизировать риски (поддерживать риски на уровне, согласованном с бизнесом);

- минимизировать масштабы негативного воздействия и разрушений, связанных с изменениями;

- оптимизировать затраты на изменения (в том числе, сделать

изменения успешными с первой попытки их внедрения).

**Цели и задачи процесса управления изменениями.** Процесс управления изменениями служит инструментом приведения в соответствие возможностей ИТ-сервисов с бизнес-потребностями. Основная цель процесса управления изменениями состоит в удовлетворении запросов клиентов и ИТ-подразделений в изменениях с максимальной выгодой для бизнеса и с минимальными инцидентами, разрушениями и переделками производственной среды.

В целом, процесс управления изменениями предназначен для регистрации, оценки, санкционирования (авторизации), упорядочения в соответствии с приоритетом, планирования, тестирования, реализации изменений с подведением итогов и соответствующим заключением специальной подсистемой управления.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема системы управления изменениями ИТ-сервисов и их компонентов.

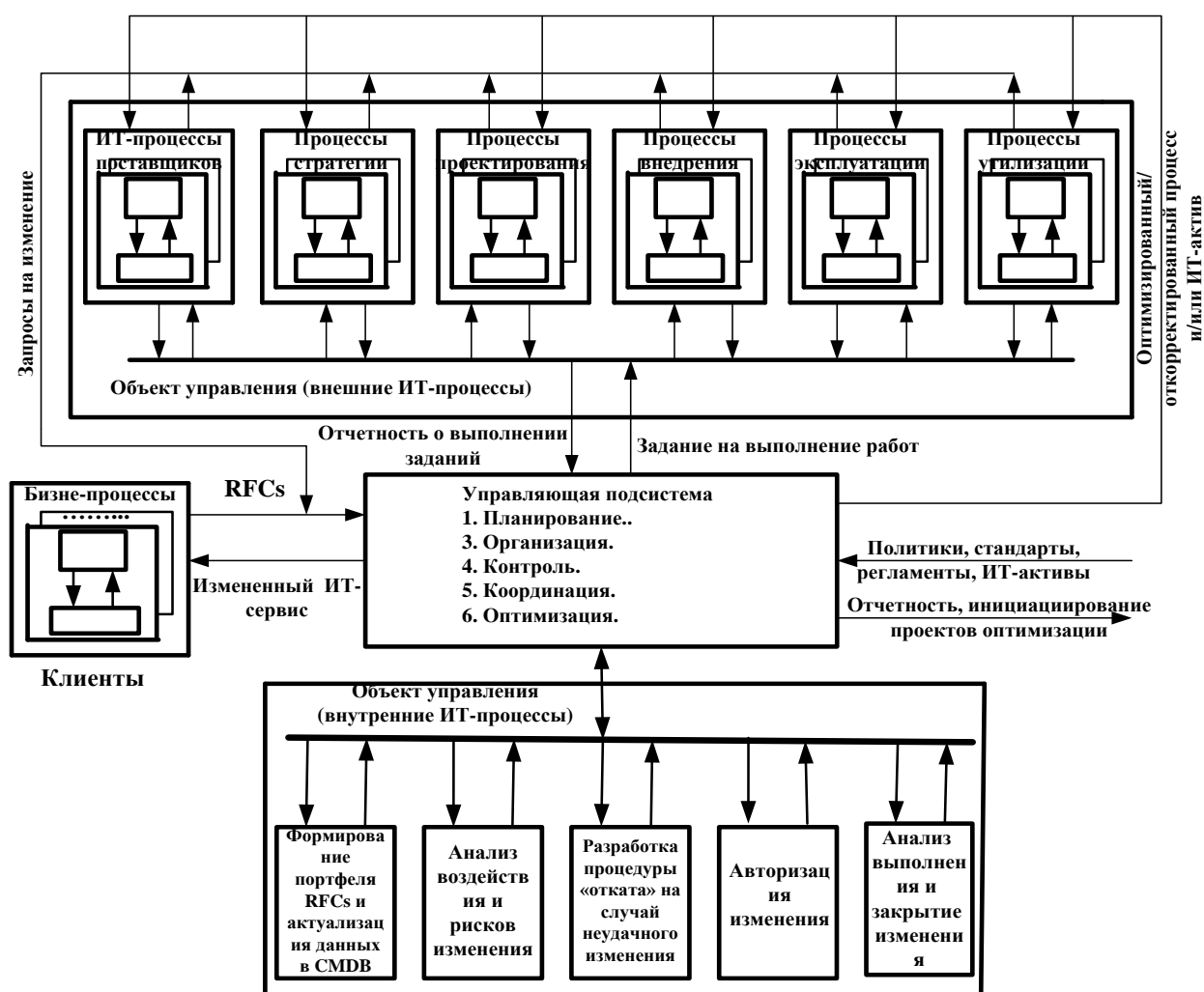


Рисунок 1 – Структура системы управления изменениями ИТ-сервисов и их КОМПОНЕНТОВ

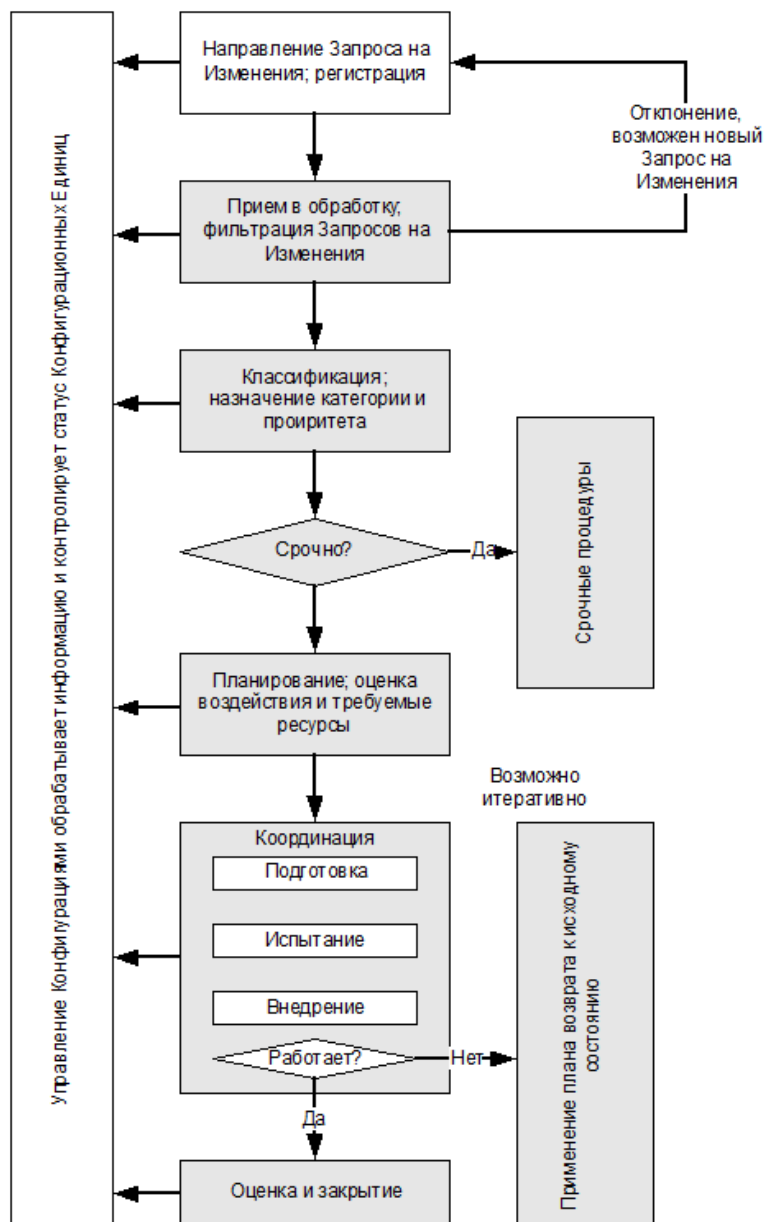


Рисунок 2 – Схема деятельности в рамках Процесса Управления Изменениями

На рисунке 2 представлен алгоритм процесса управления изменениями. Прежде всего, все Запросы на Изменения (RFC) должны быть зарегистрированы. При подаче Запроса на Изменение для решения проблемы также регистрируется номер известной ошибки.

Не каждый Запрос на Модификацию обрабатывается как изменение; некоторые повседневные задания, точно определенные и подчиняющиеся установленным процедурам (стандартизованные), но включающие в себя модификации, могут обрабатываться как Запросы на Обслуживание. В результате возникает следующая классификация изменений:

- Запросы на Обслуживание (здесь: стандартные изменения) – полностью определенные и утвержденные изменения, регистрируемые, но не оценивающиеся Процессом Управления Изменениями. Эти изменения



проводятся в рабочем порядке.

- Запросы на Изменения – все другие Запросы на Модификацию инфраструктуры.

После регистрации Запроса на Изменения (RFC) Управление Изменениями делает первичную проверку: «Нет ли среди них неясных, нелогичных, непрактичных или ненужных Запросов?». Такие Запросы отклоняются с объяснением причин. Сотруднику, направившему Запрос, всегда должна быть предоставлена возможность для защиты своего Запроса.

После приема Запроса на Изменения (RFC) определяются его приоритет и категория. Приоритет показывает, насколько важным является данный Запрос по сравнению с другими. Это, в свою очередь, определяется его срочностью и степенью воздействия.

В рамках процесса осуществляется планирование изменений. План содержит подробную информацию обо всех утвержденных изменениях и их планировании. Об утвержденных изменениях сообщают соответствующим техническим специалистам, которые будут разрабатывать и внедрять эти изменения. Перед внедрением происходит этап тестирования. В разработке, испытании и внедрении утвержденных изменений важную роль может играть Процесс Управления Релизами. Большое внимание должно уделяться вопросам информирования персонала внутри компании для поддержки изменений.

Необходимо давать оценку произведенным изменениям, за возможным исключением стандартных изменений.

Как бы хорошо ни проводилось планирование, могут быть изменения, требующие наивысшего приоритета. Срочные изменения очень важны для компании и они должны осуществляться как можно скорее. В большинстве случаев на эти изменения направляют ресурсы, предназначенные для других видов деятельности. Срочные изменения могут серьезно повлиять на запланированную работу. Следовательно, важной задачей является сведение к минимуму числа срочных или неожиданных изменений.

### **Основные принципы и политики процесса управления изменениями.**

Увеличение числа успешных изменений и уменьшение объема незапланированных работ возможно при высоком уровне культуры выполнения изменений. Чтобы привить соответствующий уровень культуры требуется административная поддержка. На участников процесса СМ, как правило, оказывается давление, обусловленное необходимостью сокращения времени выполнения изменения, сокращения бюджетного финансирования и эксплуатационных расходов и уменьшения объема тестирования. Такое давление бывает значительным и часто существенно увеличивает риски, связанные с изменениями. Группу управления внедрением время от времени призывают реализовать некачественные решения или ограничиться реализацией не всех функциональных требований. Организации необходима утвержденная политика, регламенты и стандарты, которые предписывают

внутренним и внешним ИТ-провайдерам порядок выполнения изменений и содержат перечень таких результатов процесса управления изменениями, которые противоречат этой политике.

Политика, поддерживающая процесс управления изменениями, как правило, предполагает:

- создание в ИТ-организации культуры управления изменениями, недопускающей несанкционированных изменений;
- согласованное функционирование процессов управления изменениями ИТ-сервисов и бизнеса, проектирования изменений и процесса управления изменениями ИТ-поставщиков;
- классификацию и ранжирование изменений в соответствии с приоритетами (например, преимущество инновационных изменений в сравнении с профилактическими, профилактических - в сравнении с поиковыми, поиковых - в сравнении с корректирующими изменениями);
- учреждение системы контроля изменений для всех стадий жизненного цикла сервисов;
- независимость средств контроля за изменениями от отдельных процедур процесса СМ;
- определение единственного центра управления изменениями (чтобы минимизировать вероятность попыток реализовать изменения, несовместимые с эксплуатируемыми сервисами или потенциально опасными для продуктивной среды);
- определение ограничений для персонала, который не уполномочен выполнять изменения;
- интеграцию процесса СМ с другими процессами управления сервисами, чтобы контролировать этапы обработки изменений, обнаруживать несанкционированные изменения и определять изменения, связанные с инцидентами;
- выполнение оценки рисков для всех изменений и воздействия изменений на возможности сервиса и продуктивной среды;
- определение критериев качества работы процесса СМ (например, эффективность по целям и/или эффективность по затратам).

#### Библиографический список

1. The Official Introduction to the IYIL Service Lifecycle, London: TSO, 2007. - 173р.
2. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов, М: изд. Стандарты и качество, 2005. – 408 с.
3. Брукс П. Метрики для управления ИТ-услугами/ Питер Брукс; пер. с англ. – М: Альпина Бизнес Букс, 2008.- 283 с.

## О ПРОЦЕССНОМ ПОДХОДЕ К УПРАВЛЕНИЮ ДОСТУПНОСТЬЮ ИТ-СЕРВИСОВ

Усольцева А.А.

Научные руководители: д.т.н., профессор Кулаков С.М.,  
к.т.н., доцент Зимин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Доступность - способность ИТ-сервиса, ИТ-компонента или другой конфигурационной единицы ИТ-системы выполнять согласованную функцию в согласованное время и в согласованном месте.[1] Доступность D часто определяется формулой:

$$D = \left[ \frac{\tau_d^c - \tau_n}{\tau_d^c} \right] * 100\%$$

где  $\tau_d^c$  - согласованное время доступности сервиса;  $\tau_n$  - время простоя.

Процесс управления доступностью реализуется на всех стадиях жизненного цикла ИТ-сервиса – разработки стратегии, проектировании, внедрении, эксплуатации, а также является объектом оптимизации. Необходимая доступность и способность системы противостоять сбоям и ошибкам должны разрабатываться для ИТ-сервисов и их компонентов, начиная с начальных стадий проектирования. Это является необходимым условием для того, чтобы доступность любого нового или изменяемого ИТ-сервиса была обеспечена, но также для того, чтобы все уже эксплуатируемые ИТ-сервисы и их компоненты продолжали удовлетворять требованиям соглашений SLAs.

Процесс<sup>1</sup> управления доступностью реализует функции мониторинга, измерения, анализа и отчетности.

Задачи процесса управления доступностью состоят в следующем:

- разработка и поддержка в актуальном состоянии плана доступности (AP), который отражает текущие и будущие потребности бизнеса;
- содействие бизнесу и другим процессам сервис-менеджмента в решении проблемных ситуаций, связанных с доступностью;
- поддержание согласованных с бизнесом уровней доступности ИТ-активов;
- оценка влияния всех планируемых изменений на доступность ИТ-активов и план доступности;
- обеспечение реализации проактивных мер по улучшению доступности сервисов всегда, когда это экономически оправдано.

Высокий уровень доступности означает, что заказчик имеет

---

<sup>1</sup> - О процессном подходе к управлению деятельностью см. [2]

практически постоянный доступ к ИТ-сервису благодаря сокращению времени простоя и быстрому восстановлению предоставления услуг после отказов. Уровень доступности количественно оценивается с помощью метрик.[3] Доступность сервиса зависит от: сложности ИТ-инфраструктуры; надежности компонентов; способности быстро и эффективно реагировать на сбои; качества обслуживания и качества работы поддерживающих организаций и поставщиков; качества и границ компетенции исполнителей процессов операционного управления.

Для выполнения стандартов высокой доступности сервиса производится дублирование важных компонентов там, где это возможно, используются системы обнаружения и устранения сбоев. Часто в случае обнаружения дефекта начинают автоматически действовать резервные системы. Тем не менее, в таких ситуациях также необходимо принимать организационные меры, и их может реализовать процесс управления доступностью, рисунок 1.

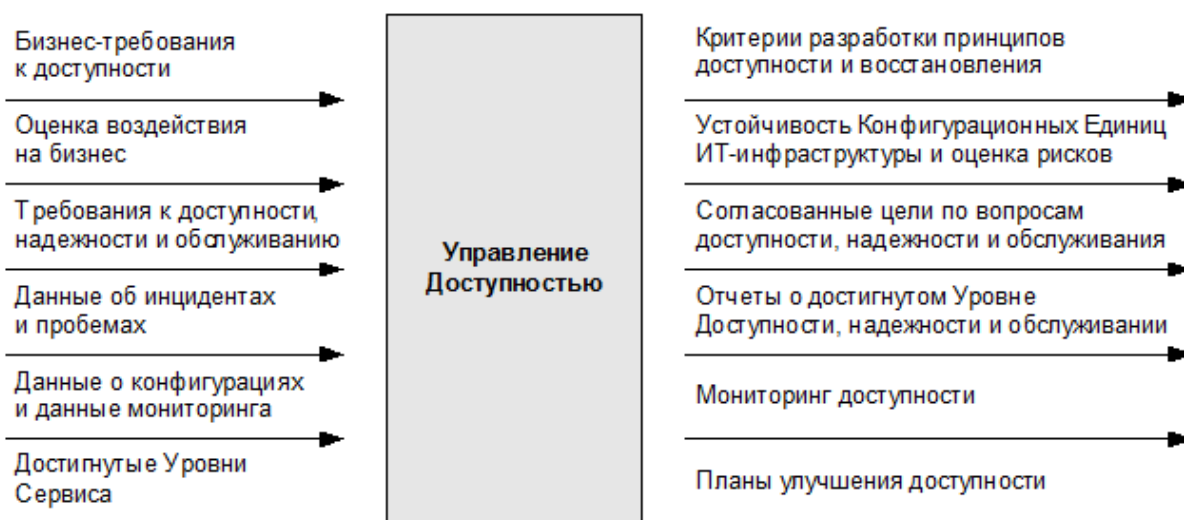


Рисунок 1 – Входы и выходы Процесса управления доступностью

Процесс управления доступностью имеет две ключевые составляющие:

- Реактивная, которая включает мониторинг, измерение, анализ и управление всеми событиями, инцидентами и «проблемами», связанными с недоступностью. Эта деятельность преимущественно связана с эксплуатацией.

- Проактивная, которая включает превентивное планирование, проектирование и улучшение доступности.

Важнейший принцип процесса управления доступностью состоит в постоянном выявлении и реализации мер, которые увеличивают удовлетворенность клиента, даже в тех случаях, когда дела у ИТ-провайдера идут не лучшим образом. Для этого, в частности, необходимо, чтобы процесс управления доступностью минимизировал продолжительность

устранения каждого инцидента. Расширенный жизненный цикл инцидента структурирует полное время простоя ИТ-сервиса для каждого данного инцидента, определяя последовательность шагов, которые должны быть выполнены (жизненный цикл инцидента). Процесс управления доступностью должен работать в тесном взаимодействии с процессами управления инцидентами и «проблемами» при анализе всех инцидентов, связанных с недоступностью. Расширенный жизненный цикл инцидента представляет хороший способ проведения технического анализа инцидентов, затрагивающих доступность ИТ-компонентов и ИТ-сервисов. Каждый инцидент проходит через несколько важных шагов. Время выполнения этих шагов может изменяться значительно. Для целей управления доступностью, стандарт жизненного цикла инцидента в сравнении с исходным определением в рамках процесса управления инцидентами, был расширен, чтобы обеспечить дополнительную информацию, в особенности для целей «проектирования для восстановления». Рисунок 2 показывает расширенный жизненный цикл инцидента.

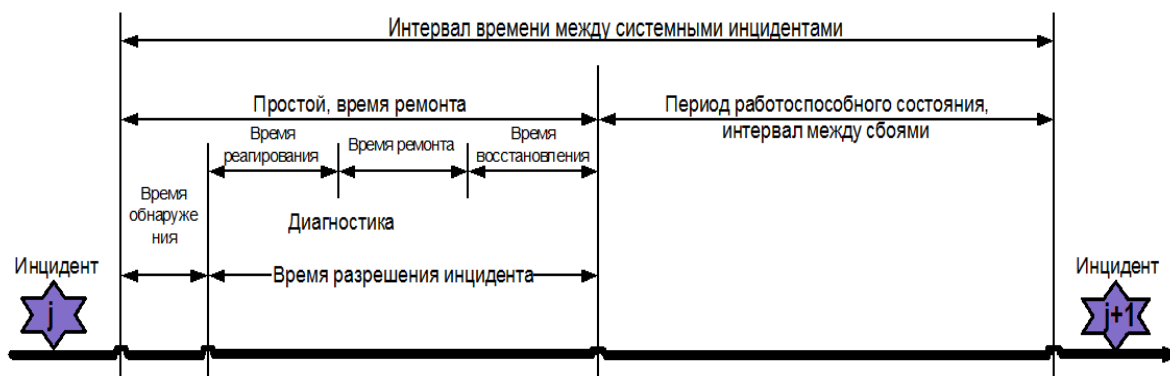


Рисунок 2 – Жизненный цикл инцидента

Последовательные шаги обработки инцидента содержат обнаружение происшествия, сбор диагностических данных, применение инструментальных средств диагностики, планирование восстановления, проверка того, что ИТ-сервис восстановлен и другие. Рассмотрим подробнее некоторые временные характеристики отдельных шагов жизненного цикла инцидента.

- Возникновение инцидента: время, когда пользователь узнал о сбое или когда сбой был обнаружен (автоматически или вручную).
- Обнаружение: поставщик сервиса проинформирован о сбое. Инцидент получает статус «Сообщено». Затраченное на это время рассматривается как время обнаружения.
- Реагирование: поставщику сервиса необходимо время, чтобы прореагировать на инцидент. Оно используется для проведения диагностики, за которой следует выполнение ремонтных работ. В Процесс Управления Инцидентами входят такие виды работ, как Прием и Регистрация

инцидентов, Классификация, Сопоставление, Анализ и Диагностика.

– Ремонт: поставщик сервиса восстанавливает компоненты, которые вызвали сбой.

– Восстановление сервиса: сервис восстановлен. При этом выполняются такие работы, как конфигурирование и инициализация, и затем производится восстановление предоставления сервиса пользователям.

Каждый шаг и связанное с ним время влияет на полное время простоя, которое воспринимается пользователем. Анализируя все периоды времени жизненного цикла инцидента, можно определить, где «теряется» время при устранении инцидента. Потери времени могут быть связаны со слабой автоматизацией (сигналы тревоги, автоматизированное восстановление и т.д.), с неразвитыми диагностическими инструментальными средствами и неясными процедурами эскалации (которые задерживают обращение к соответствующей группе технической поддержки или поставщику), или с недостатками оперативной документации.

Процесс управления доступностью должен работать во взаимодействии с процессами управления инцидентами и «проблемами» с тем, чтобы исключить повторение инцидентов и решить проблемы. Такое взаимодействие должно быть установлено для всех инцидентов, связанных с доступностью. Это позволит процессу управления доступностью получить оценку фактических значений показателей для определенных инцидентов и информацию для анализа трендов.

#### Библиографический список

1. The Official Introduction to the IYIL Service Lifecycle, London: TSO, 2007. - 173р.
2. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов, М: изд. Стандарты и качество, 2005. – 408 с.
3. Брукс П. Метрики для управления ИТ-услугами/ Питер Брукс; пер. с англ. – М: Альпина Бизнес Букс, 2008.- 283 с.

УДК 622.6

## **ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЯХ**

**Радченко И.Н.**

**Научный руководитель: Добрынин А.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

К недостаткам всех алгоритмов ЭЦП можно отнести возможность перехвата цифровых ключей и сертификатов, возможность подделки

подписи, подмены открытого ключа документа. Важной проблемой использования систем ЭЦП в распределенных сетях, является управление открытыми ключами. Необходимо обеспечить доступ любого пользователя к подлинному открытому ключу, защитить этот ключ от подмены злоумышленником, а также организовать отзыв ключа в случае его компрометации.

Для решения этих вопросов можно использовать аутентификацию на основе технологии доверенной третьей стороны, при помощи которой компьютер, собирающийся установить связь с другим компьютером, может подтвердить свою «личность». После подтверждения система снабжает оба компьютера ключами шифрования для проведения защищенного сеанса связи. Процесс можно описать 4 шагами.

1) Аутентификационный обмен: клиент отправляет запрос службе аутентификации на получение билета на доступ к службе выдачи билетов (СВБ). Служба аутентификации находит клиента в базе данных, затем генерирует сеансовый ключ (SK1), который будет использоваться клиентом и СВБ. Сеансовый ключ шифруется секретным ключом клиента. Служба аутентификации также «задействует» секретный ключ СВБ для создания и отправки пользователю билета на выдачу билета (БВБ) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Аутентификационный обмен

2) Обмен со службой выдачи билетов: клиент дешифрует сообщение и восстанавливает сеансовый ключ; затем использует его для создания аутентификатора, содержащего имя пользователя, IP-адрес и отметку времени. Клиент отправляет этот аутентификатор вместе с БВБ на СВБ, запрашивая разрешение на доступ к серверу назначения. СВБ дешифрует БВБ, затем использует содержащийся в нем SK1 для расшифровки аутентификатора. СВБ проверяет подлинность информации, содержащейся в аутентификаторе, билет, сетевой адрес клиента и отметку времени. Если все совпадает, запрос допускается на обработку. Затем СВБ создает новый сеансовый ключ (SK2) для использования клиентом и сервером назначения,

шифрует его с помощью SK1 и отправляет клиенту. СВБ также отправляет новый билет, содержащий имя сервера, и зашифрованные при помощи секретного ключа сервера назначения имя клиента, сетевой адрес, временной ярлык и время истечения срока действия билета (рисунок 2).

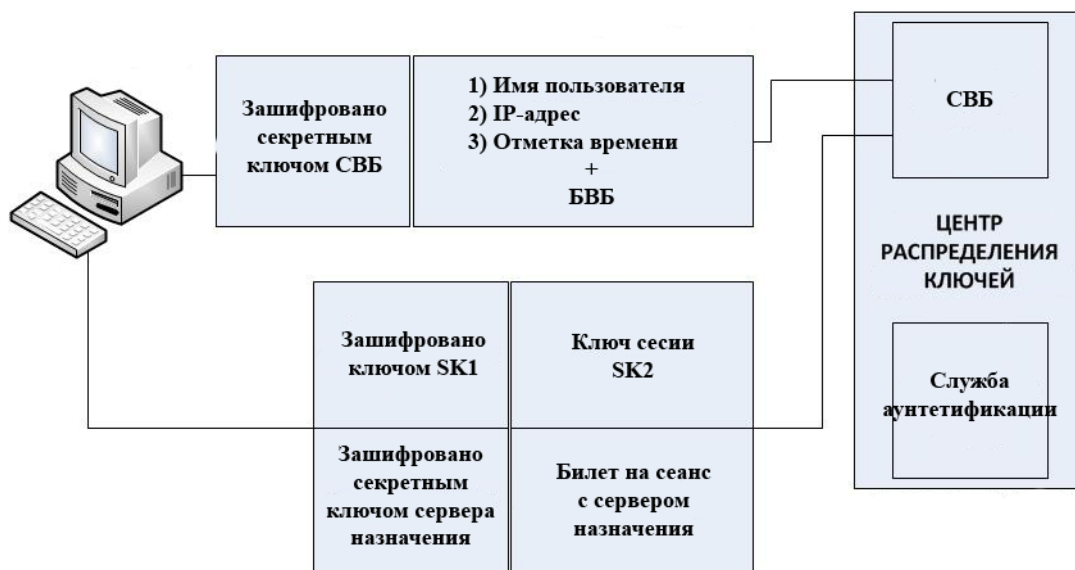


Рисунок 2 – Обмен со службой выдачи билетов

3) Обмен между клиентом и сервером: клиент дешифрует сообщение и получает SK2. Для установки связи с сервером назначения создается новый аутентификатор, зашифрованный с использованием SK2. Клиент отправляет сеансовый билет (уже зашифрованный по секретному ключу сервера назначения) и зашифрованный аутентификатор. То, что аутентификатор содержит обычный текст, зашифрованный по SK2, подтверждает, что клиент знает ключ. Зашифрованная отметка времени не дает потенциальному перехватчику записать одновременно и билет, и аутентификатор для последующего их воспроизведения. Сервер назначения расшифровывает и проверяет билет, аутентификатор, адрес клиента и отметку времени (рисунок 3).



Рисунок 2 – Обмен между клиентом и сервером



4) Защищенный обмен данными: после аутентификации клиента, сервер назначения и клиент используют общий ключ шифрования для защищенного обмена данными. Поскольку данный ключ известен лишь клиенту и серверу, они имеют право предполагать, что последнее сообщение, зашифрованное этим ключом, отправлено одним из участников сеанса.

Использование такого алгоритма предотвратит перехват цифровых ключей и сертификатов ЭЦП, и, соответственно, возможность ее подделки.

Библиографический список

Брюс Шнайер Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си [Текст] / Брюс Шнайер – М.: Триумф, 2002.- 816 с.

УДК 004. 9: 61

## **ЭЛЕКТРОННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ УСЛУГИ (ОБЗОР)**

**Заруцкая И.В.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Кулаков С.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Основной целью электронной медицины является обеспечение комфортного использования населением различных медицинских услуг, предоставляемых учреждениями здравоохранения. Для её достижения проводится соответствующая разработка и сопровождение информационных систем медицинских учреждений различного профиля, аптечных предприятий и страховых медицинских организаций. [1, 2, 3]. При этом необходимо:

во-первых: предложить перечень типовых электронных медицинских услуг.

во-вторых: предложить - широкий спектр средств для предоставления электронных медицинских услуг, в частности:

1) Системы комплексной автоматизации лечебно-профилактических учреждений.

2) Информационные системы для аптечных учреждений.

3) Программное обеспечение номенклатурного учета, полностью охватывающее жизненный цикл розничного фармацевтического предприятия.

4) Разработка уникального программного обеспечения для нужд страховых медицинских организаций.

5) Выбор, поставка, конфигурирование технических средств и локальных вычислительных сетей.

6) Обучение персонала работе с компьютерной техникой и

информационными технологиями.

7) Разработка, внедрение и сопровождение программных средств под заказ.

Информационные системы, ориентированные на электронную медицину, предназначены для комплексной или частичной автоматизации работы амбулаторно-поликлинических и стационарных лечебно-профилактических учреждений. Данные информационные системы направлены на решение таких актуальных задач, как:

- сокращение времени обслуживания пациентов в регистратуре;
- автоматизированная запись на прием к специалистам и в лабораторное отделение;
- распределение пациентов по приемным дням специалиста;
- формирование экономической и статистической отчетности в системах ОМС и ДМС, а также внутренней отчетности лечебного учреждения;
- оперативное формирование медицинской документации;
- персонифицированный учет расходования медикаментов;
- автоматизированный контроль схем прививок и учет выполненных работ, связанных с иммунопрофилактикой населения;
- проведение внутренней экспертизы качества медицинской помощи.

### **Электронная медицинская карта (ЭМК)**

ЭМК - ядро медицинской информационной системы (МИС) qMS. Вся медицинская информация, собираемая в течение жизни человека, накапливается в электронной медицинской карте пациента.

ЭМК - единое хранилище медицинской информации, предназначенное для ведения, хранения, поиска и выдачи по запросам персональных медицинских записей по всем случаям обращения пациента за медицинской помощью в лечебное учреждение.

ЭМК создается при первом обращении пациента в медицинское учреждение при его регистрации. Она создается один раз. Внутри медицинской электронной карты создаются эпизоды по каждому случаю обращения пациента в лечебное учреждение. В случае нахождения пациента на стационарном лечении формируется электронная история болезни. В случае поликлинического лечения - амбулаторная карта пациента.

При закрытии эпизода, документы, сформированные в электронной истории болезни, изменениям или дополнениям не подлежат.

Электронная медицинская карта включает в себя:

- Электронные медицинские записи – врачебные записи при осмотрах, результаты консультаций специалистов, записи медсестер, результаты анализов, результаты исследований и т.д.
- Назначения пациенту по случаям лечения (лабораторные исследования, диагностические манипуляции, медикаменты – в том числе льготные рецепты, консультации специалистов и пр.).

– Результаты лабораторных и инструментальных исследований – сканированные и цифровые изображения, лабораторные данные.

– Графические файлы, сканированные изображения, цифровые фотографии: к любой медицинской записи в ЭМК можно прикрепить любые изображения, позволяющие оценить тяжесть течения заболевания и динамику состояния процесса в ходе лечения пациента.

Количество необходимых разделов медицинских записей в ЭМК пациента не ограничено. Для каждого специалиста могут быть созданы свои шаблоны и свои разделы, необходимые для ввода медицинских записей, в том числе с использованием общепринятых классификаторов, которые позволяют максимально быстро и полно отображать состояние пациента.

В любой части ЭМК врач может вводить свободный текст, что отвечает требованиям системы стандартов ведения электронных медицинских записей.

### **Электронная цифровая подпись (ЭЦП)**

Для обеспечения неизменности и достоверности содержания ЭИБ, в медицинской информационной системе qMS возможна организация утверждения пользователем медицинских документов путем использования технологии электронной цифровой подписи с дополнительной аутентификацией в момент подписания документа. Использование ЭЦП позволяет в любой момент времени проверить неизменность хранимых документов в сравнении с моментом их подписания.

В МИС qMS так же предусмотрено использование средств аутентификации, как для процедуры подписания документов, так и для обеспечения прав доступа к документам.

### **Электронный медицинский архив (ЭМА)**

Электронный медицинский архив (ЭМА) – электронное хранилище данных, содержащее любую персональную медицинскую запись (ЭПМЗ), сохраненную на электронном носителе, и другие наборы данных и программ (классификаторы и справочники, списки пациентов и сотрудников, средства навигации, поиска, визуализации, интерпретации, проверки целостности и ЭЦП, распечатки ЭПМЗ и др.).

После размещения подписанной и закрытой электронной истории болезни в электронном медицинском архиве внесение дополнений и изменений в неё невозможно. Для организации поиска и навигации в ЭМА формируемая в системе электронная история болезни включает в себя специальные элементы идентификации.

### **Системы информационной поддержки электронных медицинских услуг**

Для оказания электронных медицинских услуг разработано множество информационных систем. Это и «Медиалог», и «Cetera», и «Амулет», и «Арена» и другие. Остановимся на такой информационной системе, как «Арена» и рассмотрим на примере её основные цели и задачи, выполняемые

медицинской информационной системой (МИС).

Данная информационная система «Арена» предназначена для формирования и ведения персонифицированной базы амбулаторно-поликлинического учреждения по учету прикрепленного населения и оказания ему медицинской помощи, в том числе по обеспечению лекарственными средствами льготных категорий населения.

Основными целями системы являются:

1) обеспечение руководства поликлиники актуальной и достоверной информацией о состоянии здоровья прикрепленного населения и проводимых с этой целью осмотрах, исследованиях и лечебно-оздоровительных мероприятиях;

2) обеспечение эффективного автоматизированного информационного обмена между ЛПУ и органами исполнительной власти, ЛПУ и субъектами системы ОМС.

Система состоит из комплексов задач, сгруппированных по выполнению определенных функций на уровне поликлиники по учету прикрепившегося населения, учету посещений к специалистам и законченных случаев лечения, выписки и учету льготных рецептов при назначении медикаментозного лечения, формирования заказ-заявки на медикаменты льготникам для передачи их в аптеки, формированию файлов для функционирования других комплексов задач и систем, а также технологические операции.

В состав системы входят следующие комплексы задач:

- 1) учет прикреплений к поликлинике;
- 2) учет посещений специалистов (в том числе выписка и учет льготных рецептов);
- 3) формирование заказ-заявки на льготные медикаменты;
- 4) учет заболеваний (законченных случаев);
- 5) формирование списка лиц, имеющих право на ЛЛО;
- 6) анализ диспансеризации КОВ и экспорт данных в областной регистр;
- 7) запросы по базе данных, формирование отчетных и учетных документов;
- 8) формирование нормативно-справочной информации;
- 9) сервисное обслуживание баз данных.

В г. Новокузнецке в настоящее время идет разработка системы оказания электронных медицинских услуг, развитие и совершенствование такой информационной системы как «Арена». Ниже представлена концептуальная схема системы электронных медицинских услуг.

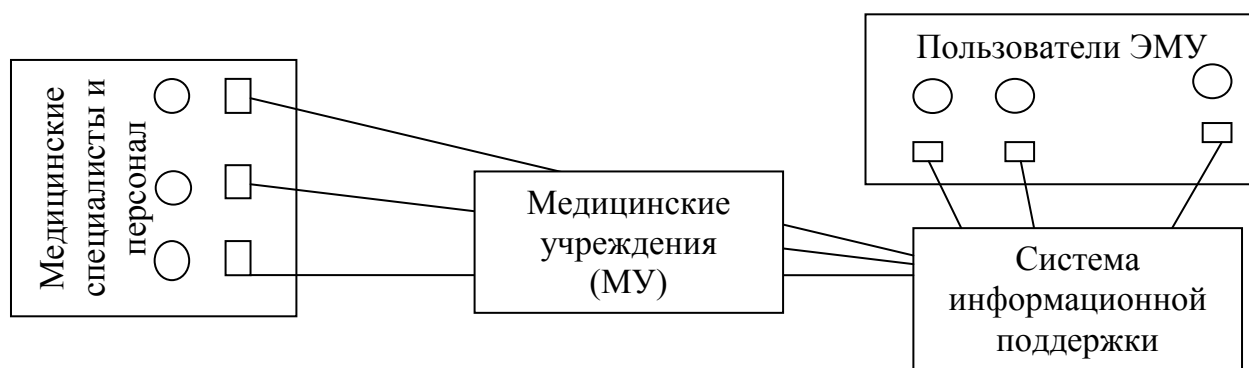


Рисунок 1 – Концептуальная схема системы электронных медицинских услуг

### Библиографический список

1. Электронная медицинская карта – метод доступа [<http://www.sparm.com>] – заглавие с экрана.
2. Электронная медицина: информационные технологии для медицинских учреждений – метод доступа [<http://www.elmed.ic.ru/>] – заглавие с экрана.
3. «МедОфис»: корпоративная информационная система для медицинских учреждений – метод доступа [<http://www.medoffice.ru/>] – заглавие с экрана.

УДК 658.011.056 : 336.7

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗНАЛИЧНОГО РАСЧЕТА: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

**Ющикова Е.В.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Львова Е.И.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Расчеты и платежи являются неперенным атрибутом хозяйственной жизни. Все операции, связанные с поставкой товаров и оказанием услуг, завершаются денежными расчетами, которые могут принимать как наличную, так и безналичную форму.

В современных условиях большая часть денежного оборота совершается в безналичной форме. Безналичные расчеты – это денежные расчеты, осуществляемые путем записей по счетам в банках, в результате которых происходит списание денег со счета плательщика и зачисление их на счет получателя [1].

Часть совокупного денежного оборота без использования наличных денег, осуществляемая путем перечисления платежей по банковским счетам, образует безналичный денежный оборот. В настоящее время на долю безналичных денежных средств приходится более 70% всех платежей

России.

Такая организация денежных расчетов гораздо предпочтительней платежей наличными деньгами, поскольку позволяет экономить последние, сокращать издержки обращения, осуществлять контроль над операциями предприятий, соблюдением ими налоговой, платежной и расчетной дисциплины.

Безналичные расчеты за товары и услуги, а также расчеты по финансовым обязательствам осуществляются в различных формах: расчеты платежными поручениями, по инкассо, по аккредитиву, чеками и с использованием пластиковых карт (рисунок 1). Под формой безналичных расчетов подразумевается совокупность экономических отношений, возникающих в процессе перечисления средств между плательщиками, получателями (взыскателями) и посредниками [1].

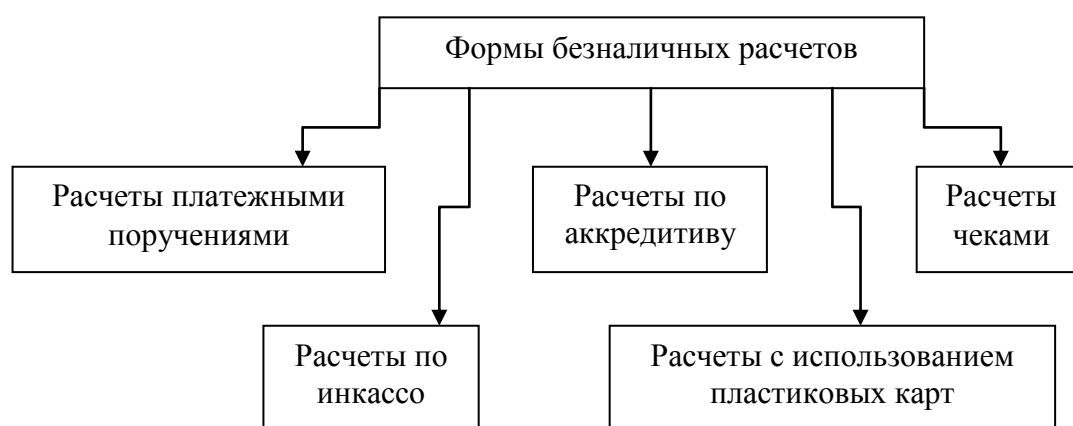


Рисунок 1 – Формы безналичных расчетов

Рассмотрим подробнее разновидности платежных карт с точки зрения технологии их изготовления и использования.

Платежная карта – идентификационный документ, предназначенный для неоднократного произведения расчетов его держателем [1].

При осуществлении безналичного расчета используются терминалы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Автоматизированная система безналичного расчета

Существуют несколько видов карт, используемых при безналичном расчете: карты со штрих-кодом, пластиковые карты с магнитной полосой, контактные смарт-карты и бесконтактные смарт-карты, оптические или лазерные карты. Также, в настоящее время, помимо карт, в качестве «электронных денег» иногда используются другие типы устройств, такие, как электронный тег Touch Memory.

Touch Memory – класс электронных устройств, имеющих однопроводный протокол обмена информацией с ними (1-Wire), и помещённых в стандартный металлический корпус (обычно имеющий вид «таблетки»)[1].

В некоторых странах СНГ пытаются применять устройства Touch Memory фирмы Dallass Semiconductor. Эти устройства представляют собой энергонезависимую память, размещённую в металлическом корпусе, служащим для защиты находящихся внутри микросхем. Размещаемые в ПЗУ данные – уникальная кодовая комбинация, которая записывается в прибор с помощью лазерной установки во время его изготовления и не может быть изменена в течение всего срока службы прибора. В процессе записи и тестирования на заводе гарантируется, что не будет изготовлено двух приборов с одинаковыми номерами, так как количество кодовых комбинаций составляет более 280 трлн. Устройство активизируется в момент контакта со считывателем. К преимуществам этих устройств относятся механическая надёжность (тег выдерживает удар 500 G, рабочий диапазон температур от -40°C до +85°C), а также достаточно простое и дешёвое оборудование для работы с ними [2]. Недостатками Touch Memory являются низкая защищённость от взлома, возможность подделки, незначительная информационная ёмкость, невозможность оперативного изменения записанных данных. Широкое их применение в качестве платёжных карточек проблематично из-за нестандартности используемого ими протокола и размеров устройств. Однако данные электронные теги используются: в системах управления доступом персонала; в системах электронных платежей, например, на АЗС; для автоматической идентификации изделий (товаров) и объектов; наиболее известным примером использования являются всем известные ключи от домофонов.

Карта со штрих-кодом – пластиковая карта, идентифицирующим элементом в которой является штрих-код.

Штриховой код, аналогичный тому, который применяется для маркировки потребительских товаров, защищён непрозрачным составом, код может быть прочитан в инфракрасном свете и расшифрован с помощью специального оборудования. Такое оборудование может иметь дополнительное устройство ввода цифрового пароля – PIN-кода (Personal Identification Number), который клиент набирает на клавиатуре.

Область применения карт со штрих-кодом не велика. В основном это дисконтные карты и подарочные сертификаты. Основным недостатком этих карт является их слабая защищённость от подделки, поэтому в банковском

деле они используются достаточно редко [3].

Карта с магнитной полосой – пластиковая карта, носителем информации в которой является магнитная полоса.

Этот тип карточек наиболее распространен и широко известен. На магнитной полосе выделяются три дорожки, одна из которых предназначена для перезаписи данных во время каждой транзакции, а остальные используются для идентификационных целей. Но магнитная полоса не выдерживает достаточно большого количества циклов перезаписи, поэтому такие карты используются, как правило, в качестве идентификаторов.

Так как магнитная полоса содержит закодированную запись данных владельца карты, то для расшифровки информации необходимо считывающее устройство [4].

Магнитные карты являются наиболее распространенными на Западе. Примеров использования таких карт в России тоже достаточно много: банковские карты, дисконтные карты, подарочные сертификаты, идентификационные и клубные карты, топливные, транспортные, страховые и многие другие.

Одними из основных недостатков магнитных карт являются отсутствие возможности надежного обновления информации и плохие эксплуатационные характеристики – магнитная полоса быстро выходит из строя. Из-за невозможности оперативного обновления информации на магнитной карте процедуры списания денег со счета клиента, находящегося, например, в магазине, являются достаточно сложными и длительными. Это объясняется тем, что при каждом списании необходимо установить связь между удаленным пунктом, где находится клиент, и местом, где хранится его счет. Наконец, магнитные карты легко подделываются [1].

*Смарт-карта – пластиковая карта со встроенной микросхемой.*

Также она является активным элементом карточной системы, обладающим развитой логикой и умеющим самостоятельно обрабатывать хранящиеся в памяти карты данные. В этом ее основное отличие от других видов пластиковых карт – с магнитной полосой, со штриховым кодом. Смарт-карты имеют высокие показатели и по многим параметрам: рабочая температура – от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  (ISO10373), промышленная атмосфера, ударные нагрузки, радиация, вибрация и так далее. Также следует отнести к преимуществам карт их высокую надежность и высокую степень защиты от подделок [5].

Смарт-карты находят всё более широкое применение в различных областях: банковские карты, для хранения секретных ключей при шифровании, для ограничения несанкционированного доступа к компьютерам и базам данных, в помещениях, снабженных специальными замками, в телефонах стандарта GSM, в системе накопительных скидок, студенческие и проездные билеты.

Все смарт-карты можно разделить по способу обмена со считывающим устройством на:



- контактные смарт-карты;
- бесконтактные (RFID) смарт-карты [1].

Контактные смарт-карты имеют зону соприкосновения, содержащую несколько небольших контактных лепестков. Когда карта вставляется в устройство, чип соприкасается с электрическими коннекторами, а информация считывается или записывается с чипа. Контактные карты не содержат батареек, энергия поддерживается считывателями.

Бесконтактные – это смарт-карты, в которых карта общается со считывателем через технологию радиочастотной идентификации объектов (RFID-система). Как и контактные смарт-карты, бесконтактные не имеют батареек. Энергию, необходимую для формирования ответного сигнала, смарт-карты получают по радиолинии от ридера.

Лазерная оптическая карта (ЛОК) – пластиковая карта, носителем информации в ней являются полоски, считывание которых осуществляется лучом лазера [1].

Данные наносятся непрерывным методом на оптическую ленту карты в виде микроскопических отверстий и пробелов с помощью лазерного луча. Это позволяет предотвратить мошенничество и подделки. Благодаря увеличенному объему памяти (до 4,1 Мб) на них могут быть записаны самые разные виды биометрических данных: отпечатки пальцев, радужная оболочка, геометрия руки, портрет, ДНК, голос и так далее. На настоящий момент (после выпуска 35 миллионов ЛОК) официально не зафиксировано ни одного случая их подделки.

Лазерные оптические карты представляют собой носители информации типа WORM (Write Once Read Many), позволяющие однократную запись и многократное чтение информации. Другими словами, однажды записанная информация не может быть изменена, дополнена или стерта. Это не исключает возможности внесения новых записей.

Оптическая лента состоит из нескольких слоев поликарбоната соединенных на молекулярном уровне, что обеспечивает ей высокую физическую стойкость и долгий срок службы. Данные, записанные на ленте, устойчивы к колебаниям температуры в диапазоне  $-55^{\circ}\text{C}$  –  $+105^{\circ}\text{C}$ , электромагнитному излучению, статическому электричеству, растворителям, агрессивным химическим веществам и сильным деформациям (сгибанию). Поэтому и срок службы у данных карт составляет 10 лет и более. По всем характеристикам ЛОК являются наиболее надежным типом карт нового поколения.

Области применения лазерных оптических карт: службы безопасности — хранение данных для биометрической идентификации (образцы подписи, отпечатки пальцев или ладоней); медицина и страхование; архивы и библиотеки — хранение текстов и рисунков; водительское удостоверение; удостоверение личности; банковские карты.

Кроме вышеупомянутых типов банковских карточек, могут быть смешанные типы. Например, магнитные, оптические или смарт-карты,

которые снабжаются штрих-кодом. Широко используется карточки с микросхемой и одновременно с магнитной полосой. Однако функционально это разные карточки: либо ею пользуются как магнитной, либо как смарт-картой. Совместное использование разных типов в единой информационной технологии пока не известно.

#### Библиографический список

1. Википедия [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии. – Режим доступа: [<http://ru.wikipedia.org/>] – Загл. с экрана.

2. Touch Memory – электронный идентификатор [Электронный ресурс]: Статья Е. Злотника. – Режим доступа: [<http://rf.atnn.ru/s2/tem.html>] – Загл. с экрана.

3. Пластиковые карты со штрих-кодом [Электронный ресурс]: Стилпост – система контроля и управления доступом. – Режим доступа: [<http://stilpost.ru/ru/hardware/21/id-card>] – Загл. с экрана.

4. Пластиковые карты с магнитной полосой [Электронный ресурс]: PRIMAcards – пластиковые карты: изготовление, печать. – Режим доступа: [<http://www.primacard.ru/pages/90.htm>] – Загл. с экрана.

5. «Умные» пластиковые карты. Smart card [Электронный ресурс]: Изготовление пластиковых карт. – Режим доступа: [<http://www.vladcard.ru/primer.html>] – Загл. с экрана.

6. Лазерные оптические карты (Laser Optical Card) [Электронный ресурс]: Сертифицированные программные продукты. – Режим доступа: [<http://www.certifsecurity.ru/ShowArticle.aspx?ID=30&AspxAutoDetectCookieSupport=1>] – Загл. с экрана.

УДК 622.6

## **СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ У ЭНЕРГОПОТРЕБИТЕЛЯ**

**Вороженков И.С.**

**Научный руководитель: доцент Логинов В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Экономия электрической энергии на всех стадиях ее жизненного цикла (производства, передачи, распределения и потребления) составляет важнейшую проблему энергетики России. Эффективное использование электроэнергии на уровне промышленных предприятий является одной из составляющих данной проблемы. Это обусловлено ростом цен на электроэнергию и возрастанием ее доли в себестоимости продукции, которая для энергоемких предприятий довольно высока и может достигать 60% и

более.

Потребность в резком сокращении этой доли - необходимое условие внедрения в электроэнергетику промышленных предприятий современных АСУ, построенных на базе отечественных и импортных технических средств и специального математического обеспечения управления, включающего новые информационные технологии, математические модели, методы и алгоритмы построения таких систем.

Внедрение АСУ в электроэнергетику предприятий обеспечивает системность управления и высокое качество принятия управленческих решений, полностью отвечает требованиям концепции автоматизации управления энергетикой предприятий в условиях формируемого энергетического рынка.

Наиболее эффективным способом снижения потерь активной мощности, электроэнергии и напряжения в электрических сетях промышленных предприятий является компенсация реактивной мощности в узлах электросети, включающая компенсацию реактивной нагрузки с помощью конденсаторных установок (например, автоматизированных конденсаторных установок типа АКУ, оснащенных регулятором реактивной мощности РРМ-03 производства ООО «ЭНСИТЕХ», Германия), устанавливаемых в непосредственной близости к потребителю электроэнергии с загруженным графиком работы. Такие системы компенсации реактивной мощности в наибольшей степени удовлетворяют требованиям как потребителей, так и поставщиков электроэнергии.

Регулирование реактивной мощности связано с выполнением требований энергосистемы по режиму ее потребления (генерирования) предприятиями и уменьшением потерь в их электрических сетях. Это достигается за счет компенсации реактивной мощности на вводах электроэнергии в предприятие и в узлах электросети путем изменения режима работы синхронных двигателей, батарей силовых конденсаторов, синхронных и тиристорных компенсаторов.

Наибольшее применение для регулирования реактивной нагрузки на промышленных предприятиях в настоящее время находят батареи силовых конденсаторов (БК). Это объясняется их сравнительной дешевизной, незначительными расходами на эксплуатацию, возможностью размещения в электрических сетях как в виде крупных единиц на подстанциях, так и в виде мелких установок непосредственно у потребителей.

*Постановка задачи модернизации системы прототипа на «КЗМК».*

Данная система прототип, построенная на оборудовании «Меркурий», выполняет функцию контроля и учета электроэнергии, однако, существует необходимость создания автоматизированной системы компенсации на её основе, продиктованная существованием определенных стандартов по показателям качества электроэнергии.

Следует учесть требования к реактивной мощности и необходимость создания её компенсаторов на основе конденсаторных батарей в составе

системы компенсации реактивной мощности.

В качестве измерительной подсистемы используем систему прототип на базе оборудования «Меркурий». Разработаем распределенную систему компенсации реактивной мощности, рассчитав каскады конденсаторов для каждого распределительного узла.

В соответствии с ГОСТ 27389-87 установка по реактивному току должна быть регулируемой от  $\cos\varphi=0.95$  до  $\cos\varphi=1$ , при этом  $\cos\varphi = P/S = P/\sqrt{P^2 + Q^2}$ .

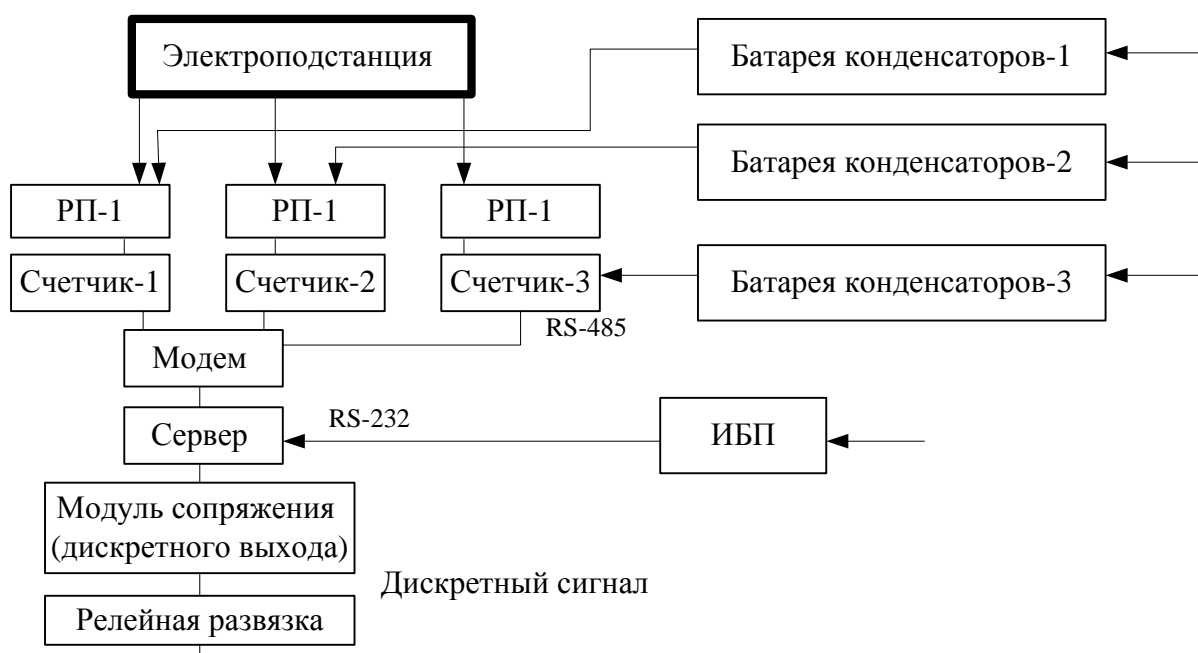


Рисунок 1 – Структурная схема системы компенсации реактивной мощности

Произведя расчет мощности необходимых конденсаторных установок согласно формуле:  $Q_{к.р.} = \alpha * P * (tg\varphi - tg\varphi_{к.})$ , выберем КРМ 0,4-60-12,5 в соответствии с ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70 (УЗ - умеренно-холодный климат). Для управления подключением ступеней конденсаторных батарей подберем релейную развязку с соответствующим количеством выходов «PCLD-8761 ADVANTECH». Также установим модуль «Ke-USB24A», предназначенный для сопряжения внешних цифровых и аналоговых устройств, датчиков и исполнительных механизмов с компьютером через шину USB.

На сервере (ПК) установим необходимое программное обеспечение OPC-сервер электросчетчика «Меркурий-230» и HMI/SCADA DataRate. OPC-сервер электросчетчика «Меркурий-230» предназначен для организации информационного обмена с электросчетчиком «Меркурий-230». С помощью OPC-сервера можно интегрировать электросчетчик в любую систему, поддерживающую спецификацию OPC (OLE for Process Control), например, SCADA- или HMI-систему. Организация информационного обмена со счетчиком по интерфейсу RS-232 или RS-485 в

соответствии с протоколом обмена счетчика «Меркурий-230». Связь по интерфейсу RS-232 организуется с использованием преобразователя «Меркурий- 221». При большой удаленности электросчетчика возможна организация связи по радиоканалу. Функциональные возможности DataRate соответствуют современным требованиям, предъявляемым к HMI/SCADA системам. При этом стоимость базового пакета DataRate на 60 точек ввода/вывода составляет всего 100€. Экономическая эффективность использования DataRate ощутима как при автоматизации небольших типовых объектов, например, узлов учета ресурсов, систем пожаротушения, дизельгенераторов и др., так и при использовании в составе крупных АСУТП совместно с другими решениями.

Для формирования управляющего воздействия модулем сопряжения, в соответствии с измеренными значениями мощностей в режиме реального времени, необходимо задать соответствующий алгоритм функционирования программы.

Программа подключения конденсаторных ступеней равной мощности действует по принципу «первым включен — первым выключен»: 1:1:1:1:1. Она сравнивает реальное значение  $\cos\phi$  с заданным диапазоном значений от 0.95 до 0.99. При выходе значения  $\cos\phi$  за нижнюю или верхнюю границу этого диапазона формируется команда соответственно на включение или отключение одной ступени конденсаторной батареи, после чего цикл выполняется заново. В качестве границ диапазона значений  $\cos\phi$  зададим значения соответствующие допустимым по ГОСТ 27389-87.

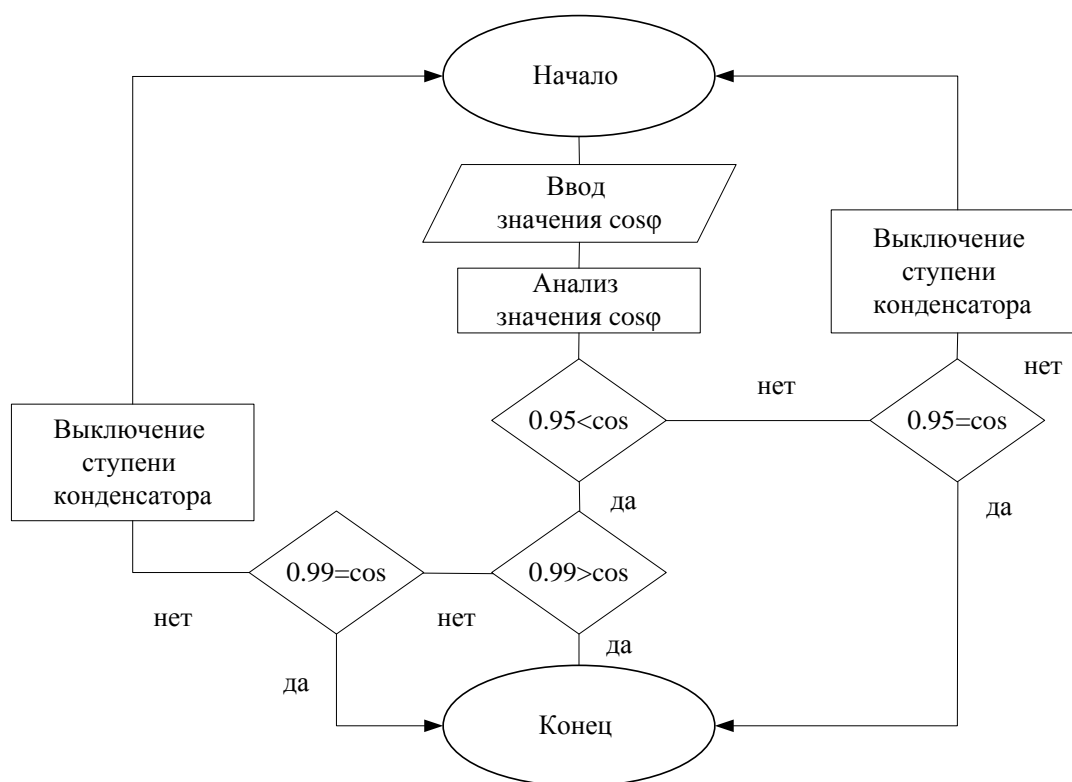


Рисунок 2 – Алгоритм компенсации реактивной мощности

Система выстроена по распределенному принципу, то есть компенсация реактивной мощности происходит непосредственно на каждом распределительном узле. Это дает возможность более точно рассчитать мощности необходимых конденсаторных установок, а также более плавно производить компенсацию благодаря включению ступеней небольшой емкости. Также учтена возможность последующего наращивания потенциала автоматизированной системы компенсации реактивной мощности.

#### Библиографический список

1. Жежеленко И.В. и др. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. / И.В. Жежеленко – Киев: Техника, 1981.-160 с.
2. Дрехслер Р. Коэффициент мощности и потери в сети при несимметричном и нелинейном потребителе // Электричество. –1982. – № 2.- С.12-16.
3. Типовая автоматизированная система технического учета электроэнергии предприятия // Автоматизация в промышленности.- 2010.- №10.
4. Егоров В.А. АСКУЭ современного предприятия / В.А.Егоров // Энергетик.-2001.- №12.- С. 41.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ.....</b>   | <b>3</b>  |
| Ерилова Е.В.<br><b>Международные аспекты современного этапа атомной энергетики..</b>  | <b>3</b>  |
| Алёшин Н.Д.<br><b>Химические концепции.....</b>   | <b>9</b>  |
| Гилева Н.А., Лапуха А.Е.<br><b>Фуллерены: структура, свойства, применение.....</b>  | <b>12</b> |
| Ширяева Л.С.<br><b>Термодинамика высокотемпературных взаимодействий в системе хром–углерод–водород–азот–кислород, хлор.....</b>           | <b>17</b> |
| Михайлова Ю.М.<br><b>Оценка относительного коэффициента распределения серы в железоуглеродистых расплавах.....</b>                        | <b>21</b> |
| Воловик А.И.<br><b>Анализ термодинамических активностей компонентов металла и шлака плавов, рассчитанных по различным методикам.....</b>  | <b>25</b> |
| Мартусевич Е.А.<br><b>Введение в геологию.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>II. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....</b>   | <b>35</b> |
| Корнеев П.А.<br><b>Некоторые аспекты разрушения горных пород с использованием энергии горного давления.....</b>                           | <b>35</b> |
| Новоселов Д.Б., Новоселова В.А.<br><b>Использование трехмерных виртуальных моделей местности в учебном процессе.....</b>                  | <b>37</b> |
| Зенчук Д.И., Волков С.А.<br><b>Управление качеством процессов буровзрывных работ.....</b>   | <b>40</b> |
| Куничев О.Г.<br><b>Выбор состава твердеющей закладки из местных материалов в условиях Таштагольского железорудного месторождения.....</b> | <b>43</b> |
| Суртаева М.А.<br><b>Выбор системы разработки для отработки глубоких горизонтов полиметаллического месторождения.....</b>                  | <b>46</b> |

|   |    |
|---|----|
| Горбунов А.А.<br><b>Модернизация устаревших вентиляторов главного проветривания шахт</b> .....                                      | 50 |
| Носков Е.А.<br><b>Анализ путей повышения эффективности процесса разрушения горных пород проходческими комбайнами</b> .....          | 52 |
| Чевычалова А.А.<br><b>Развитие угольной промышленности Кузбасса</b> .....   | 54 |
| <b>III. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ</b> .....  | 57 |
| Ходосов И.Е., Силин М.Ю., Чукреева Е.С.<br><b>Перспективы расширения отечественной сырьевой базы производства феррохрома</b> .....  | 57 |
| Ходосов И.Е., Лазаревский П.П., Силин М.Ю.<br><b>Изучение металлургических свойств хромитоносной руды юга Западной Сибири</b> ..... | 60 |
| Сидоренко Н.Н., Скрипко А.А., Голубева Е.А.<br><b>Изучение кинетики восстановления кремния при частичной замене кокса</b> .....     | 62 |
| Пятернин А.И., Искусных Д.С., Харитонов Д.С.<br><b>Модифицирование стали барий- и стронций-содержащими материалами</b> .....        | 66 |
| Кокорин П.О.<br><b>Исследование шлаков сталеплавильного производства и анализ технологических вариантов их утилизации</b> .....     | 68 |
| Горчаков А.А.<br><b>Исследование особенностей внепечной обработки стали в конвертерных цехах</b> .....                              | 71 |
| Реутов А.С., Степкин Д.В.<br><b>Перспективы применения высоких технологий в рециклинге алюминия</b> .....                           | 76 |
| Душин Е.С.<br><b>Пути оптимизации формы рабочего пространства алюминиевого электролизера</b> .....                                  | 80 |
| Флейглер С.А.<br><b>Методика расчета удельной массы электролита в алюминиевом электролизере</b> .....                               | 84 |



|  |     |
|--|-----|
| Жемчугов А.В., Масленников А.С.<br><b>Рециклинг алюминия в России: состояние и перспективы</b> .....   | 88  |
| Кручинин Г.О., Кормилицын Д.Э.<br><b>Инертный анод в производстве алюминия</b> .....   | 93  |
| Иванченко А.М., Федякина А.Н.<br><b>Применение новых технологий в производстве вторичного алюминия</b> .....   | 96  |
| Душин Е.С., Флейглер С.А.<br><b>Сера в производстве алюминия</b> .....   | 101 |
| Панэ А.П., Широких О.А.<br><b>Инертные аноды для алюминиевых электролизеров: современное состояние и перспективы разработки</b> .....  | 104 |
| Глухова Ю.Ю., Кургуз К.А.<br><b>Анализ современного состояния отечественной металлургии вторичного алюминия</b> .....  | 107 |
| Антоненко Л.А., Пилипенко Е.В.<br><b>Применение флюсов для производства рециклированного алюминия</b> .....  | 112 |
| Амзоров А.С.<br><b>Получение полукоксов из бурых углей в электрокальцинаторах</b> .....  | 117 |
| Гарбузова А.К., Слепкина Н.В.<br><b>Определение электротермических характеристик камеры высокого давления для синтеза сверхтвердых материалов</b> .....  | 120 |
| Терентьева М.А.<br><b>Современное промышленное производство борида хрома: оценка состояния, анализ и определение технико-экономических показателей</b> .....                                     | 124 |
| Гостевский А.А., Кызласов Е.С., Алмазов К.А.<br><b>Подготовка шихтовых смесей для производства карбида кремния</b> ...   | 129 |
| Кискоров В.С., Кузнецов Е.В.<br><b>Гранулятор для получения окатышей мелкого размера</b> .....   | 132 |
| Лихачева К.А., Чичкова А.Е.<br><b>Газовые раковины в стальных отливках</b> .....   | 134 |
| Деев В.Б., Цецорина С.А., Архипова Е.С., Слободчиков А.В., Кемаев П.А.<br><b>Расчет полного времени затвердевания литейных алюминиевых сплавов, обработанных физическими воздействиями</b> ..... | 138 |
| Попов А.И.<br><b>Исследование влияния конструктивных параметров вихревой инжекционной горелки на формирование разомкнутого факела</b> .....  | 141 |

|   |     |
|---|-----|
| Филинберг И.Н.<br><b>Лабораторная установка для исследования прочности твердого топлива</b> .....   | 145 |
| Соловьев С.С., Лупенко В.Г.<br><b>Разработка технических решений по снижению выбросов в атмосферу установок сухого тушения кокса</b> .....                                | 149 |
| Чумаченко А.Ю., Ромашова Ю.Н., Батаев И.А.<br><b>Деформация двойникованием перлита при высокоскоростном нагружении</b> .....  | 153 |
| Жук Т.А.<br><b>Экспертизное исследование структуры и свойств металла чугунной тормозной колодки в состоянии поставки</b> .....  | 157 |
| Денисова Д.С., Жигульская Е.А., Игнатёнок О.Н., Марков О.П.<br><b>Охлаждающая способность различных закалочных сред на основе полимерных соединений</b> .....             | 160 |
| Цюпка Ю.С., Динкевич А.С., Лубяной Д.Д.<br><b>Определение оптимального содержания кремния в чугуне индукционной плавки</b> .....  | 167 |
| Сильченко М.В., Динкевич А.С., Лубяная С.В.<br><b>Применение различных конструкций фурм для продувки расплава методом резонансно – пульсирующего рафинирования</b> .....  | 170 |
| Крюков Р.Е.<br><b>Изготовление нефтеналивных вертикальных резервуаров в северном исполнении с применением специальных сварочных материалов</b> .....                      | 175 |
| Власов И.С., Маркевич В.М.<br><b>Металлургические и технологические характеристики покрытий различных типов электродов</b> .....  | 180 |
| Бобков А.Е., Интяпин И.В., Стакин А.Ю.<br><b>Создание экспериментальной установки для сварки металлов с термомеханической памятью</b> .....                               | 183 |
| Ермолаев И.В., Якушевич А.А.<br><b>Исследование наплавленных деталей металлургического оборудования типа тел вращения на износостойкость и контактную прочность</b> ..... | 186 |
| Полянцев А.А.<br><b>Основные направления совершенствования технологического процесса изготовления сварных металлоконструкций на ООО «КМ»</b>                              | 189 |

|  |     |
|--|-----|
| Колегова М.Н., Шуткова А.Д., Скарлушин В.С.<br><b>Некоторые требования к термическому циклу наплавки<br/>теплостойкими инструментальными сталями.....</b>                  | 194 |
| <b>IV. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И УПРОЧНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ.....</b>   | 197 |
| Котова М.О.<br><b>Магний и его взаимодействие с водородистыми элементами.....</b>  | 197 |
| Базайкин Ф.Ю.<br><b>Алюминий и водородистые элементы.....</b>  | 200 |
| Николаева М.И.<br><b>Медь и её взаимодействие с водородистыми элементами.....</b>  | 204 |
| Меньшиков А.А.<br><b>Магний и его взаимодействие с азотистыми элементами.....</b>  | 206 |
| Рогалев М.<br><b>Влияние водорода и водородистых элементов на свойства железа...</b>   | 210 |
| Рудник А.А.<br><b>Взаимодействие меди с азотистыми элементами.....</b>   | 213 |
| Семенова И.Р.<br><b>Взаимодействие кремния с азотистыми элементами.....</b>  | 216 |
| Шаповал Е.<br><b>Взаимодействие никеля с азотистыми элементами.....</b>  | 220 |
| <b>V. ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И<br/>ТРАНСПОРТ.....</b>   | 223 |
| Ковалева М.П.<br><b>Кинематическое подтверждение невозможности прямолинейного<br/>движения точки прикрепления штока поршня паровой машины<br/>Уатта.....</b>               | 223 |
| Ермолаева Н.Ю.<br><b>Исследование ускорений звеньев четырехзвенного кулачкового<br/>механизма.....</b>   | 226 |
| Желтухин Д.В.<br><b>К вопросу о синтезе структур механизмов с подвижными<br/>приводами.....</b>  | 229 |
| Гафиятов М.В.<br><b>О возможности применения инверсора Поселье – Липкина, как<br/>приводного механизма при реализации прямолинейного движения<br/>выходного звена.....</b> | 231 |

|  |            |
|--|------------|
| Тутынин А.В.   |            |
| <b>Принцип действия роликового кантователя клещевого типа.....</b>   | <b>232</b> |
| Гаряшин В.В.   |            |
| <b>Кинестатическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой.....</b> | <b>235</b> |
| Андреева Я.А.  |            |
| <b>Структурный анализ планетарного механизма с тремя сателлитами.....</b>  | <b>237</b> |
| Федоров А.И.   |            |
| <b>Развитие подхода М.Грюблера к созданию механизмов различных семейств.....</b>                                 | <b>240</b> |
| Гнездилов В.К.   |            |
| <b>К возможности создания шестизвенного пространственного винтового механизма с трехпарными звеньями.....</b>    | <b>243</b> |
| Фомин А.С.   |            |
| <b>Образование неассуровых механизмов второго семейства.....</b>   | <b>245</b> |
| Садиева А.Э., Дворникова Е.В.  |            |
| <b>Об одной из проблем многосателлитных планетарных передач.....</b>   | <b>248</b> |
| Нагибин А.В.   |            |
| <b>Об общем случае проектирования ударных кулачковых механизмов.....</b>   | <b>250</b> |
| Князев А.С.  |            |
| <b>К вопросу об усовершенствовании секций шахтных механизированных крепей.....</b>                               | <b>252</b> |
| Варнава А.В.   |            |
| <b>Постановка проблем совершенствования шахтных скребковых конвейеров.....</b>                                   | <b>254</b> |
| Аленченков Г.С.  |            |
| <b>Механизмы пусковых устройств беспилотных летательных аппаратов.....</b>                                       | <b>257</b> |
| Аленченков И.С.  |            |
| <b>Механизмы съемные роторных линий.....</b>   | <b>261</b> |
| Докукин М.Ю.   |            |
| <b>Проблемы проектирования механизмов с пироприводом.....</b>  | <b>267</b> |
| Покровская О.Д.  |            |
| <b>Модульно-интегрированная структура логистического накопительно-распределительного центра.....</b>             | <b>270</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>VI. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ.....</b>  | <b>276</b> |
| Магеррамова Т.Т.<br><b>Проект информационной системы учета продажи билетов в кинотеатре.....</b>  | <b>276</b> |
| Мухортова Л.В.<br><b>Проект информационной системы учета персонала в отделе кадров</b>  | <b>281</b> |
| Торопов Д.В.<br><b>Идентификация функций принадлежности при разработке системы нечеткого управления колонной синтеза аммиака.....</b>   | <b>286</b> |
| Шаповалов К.В.<br><b>Информационная система распознавания поверхностных дефектов листового проката алюминия.....</b>  | <b>289</b> |
| Площадная М.С.<br><b>Алгоритмизация выбора строительной техники для разработки котлованов.....</b>  | <b>295</b> |
| Саломатова Ю.П.<br><b>Моделирование конфликтных ситуаций в социальных сетях.....</b>  | <b>299</b> |
| Воронцова А.А.<br><b>Информационная система обработки и передачи данных применительно к ООО «Электропром».....</b>  | <b>303</b> |
| Степанова Ю.С.<br><b>Исследование особенностей формирования предельных циклов колебаний кардиодинамики в зависимости от энергетических уровней компонентов их спектра в организме человека.....</b> | <b>306</b> |
| Макаров Г.В.<br><b>Моделирование контролируемых и приведенных к выходу возмущений для исследования систем регулирования.....</b>  | <b>310</b> |
| Жилинков В.Е.<br><b>Робототехнические устройства в системах технологических измерений.....</b>  | <b>313</b> |
| Шушуева А.А.<br><b>Экспертная система распознавания горных пород.....</b>   | <b>316</b> |
| Лыков В.Е., Кораблин Р.А.<br><b>Разработка программно-алгоритмического обеспечения социальной сети видеоконференций.....</b>  | <b>321</b> |
| Семёнова Е.А.<br><b>Основные функции и задачи подсистемы управления изменениями</b>   | <b>326</b> |

|   |            |
|---|------------|
| Усольцева А.А.  |            |
| <b>О процессном подходе к управлению доступностью ИТ-сервисов....</b>                                   | <b>331</b> |
| Радченко И.Н.   |            |
| <b>Защита электронной цифровой подписи в распределенных сетях....</b>                                   | <b>334</b> |
| Заруцкая И.В.   |            |
| <b>Электронные медицинские услуги (обзор).....</b>  | <b>337</b> |
| Ющикова Е.В.  |            |
| <b>Информационные системы безналичного расчета: аналитический обзор.....</b>                            | <b>341</b> |
| Вороженков И.С.   |            |
| <b>Система контроля и регулирования реактивной составляющей электроэнергии у энергопотребителя.....</b> | <b>346</b> |

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Часть III**

*Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов  
и молодых ученых*

**Выпуск 15**

|                       |                                |
|-----------------------|--------------------------------|
| Под общей редакцией   | Мышляева Л.П.                  |
| Технические редакторы | Ознобихина С.П.<br>Морина Г.А. |
| Компьютерная верстка  | Морина А.С.                    |

Издательская лицензия № 01439 от 5.04.2002 г.

Подписано в печать \_\_\_\_\_

Формат бумаги 60-84 1/16. Бумага писчая, ризография.

Усл.печ.л. 21,22 Уч.-изд.л. 22,59 Тираж 300 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42  
Издательский центр СибГИУ