

Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО «Сибирский государственный  
индустриальный университет»

ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»

ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»

ЗАО «Кузбасская ярмарка»

**МЕТАЛЛУРГИЯ:  
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ,  
ИННОВАЦИИ И КАЧЕСТВО**

*Труды Всероссийской научно-практической конференции  
7–10 октября*

Новокузнецк  
2008

УДК 669(06)+658.012.056(06)

Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество: Труды Всероссийской научно-практической конференции / Сибирский государственный индустриальный университет; Под ред. Е.В. Протопопова – Новокузнецк, 2008. – 466 с., ил.

В сборнике отражены результаты научных исследований и практический опыт создания новых материалов и технологий термической обработки металла, разработок по внедрению новых технологий в сварочном производстве, совершенствования действующих агрегатов, автоматизации управления металлургическими ресурсами, повышения качества продукции, экономической эффективности и конкурентоспособности действующих предприятий, управления персоналом.

Сборник ориентирован на инженеров предприятий, научных работников, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Редакционная коллегия:

д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,  
д.т.н., профессор С.М. Кулаков,  
д.т.н., профессор О.И. Нохрина  
д.т.н., профессор В.К. Афанасьев,  
к.т.н., профессор С.Г. Рудаков,

**Под редакцией профессора Е.В. Протопопова**

© Сибирский государственный  
индустриальный университет,  
2008

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 669.1

### НАУКА И БИЗНЕС В СОВРЕМЕННОЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ПОЛТОРАЦКИЙ Л.М., БАРНАЕВ И.А.

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»  
г. Новокузнецк*

Доля металлургического комплекса в промышленном производстве России составила в 2007 году 18 %, в основных фондах промышленности – 11 %, в экспорте – около 15 %. Постоянно возрастают инвестиции (в т.ч. и зарубежные) в основной капитал предприятий комплекса. Если, по данным Минпромэнерго России, в 2000 г. объем этих инвестиций составил 23,4 млрд. руб., то в 2007 г. – уже 128 млрд. руб.

Благодаря удачной рыночной конъюнктуре и располагая значительными поступлениями средств, ведущие российские металлургические компании имеют возможность приобретать самые передовые мировые технологии и оборудование. В настоящее время среди фирм, оперирующих на указанных рынках преобладают зарубежные – Danieli, VAI и т.д. Это связано с тем, что зарубежные фирмы, в отличие от российских, способны предоставить полный пакет услуг (поиск, исследование, обоснование, проект, оборудование, техническое сопровождение).

Современная рыночная ситуация такова, что конкуренция побуждает предприятия к инновациям, в то время как научно-технические организации не успевают за потребностями производства. Многие российские компании ведут инновационную деятельность путем адаптации технологических решений, разработанных другими, часто зарубежными фирмами, и не рассматривают создание нововведений в качестве ключевой стратегии собственного развития. Такая политика может обеспечивать локальную конкурентоспособность на национальных рынках, но не гарантирует успеха в конкурентной борьбе на глобальных рынках.

Сегодня отраслевые НИИ и вузы активно не участвуют в выработке стратегий развития металлургических предприятий, если не считать участия в совещаниях, конференциях, научно-технических советах, где им предоставляется возможность всего лишь высказать собственное мнение, поскольку решение практически всегда отражает пожелания владельцев и топ-менеджмента компании.

Стабильное финансирование научных исследований, как одна из стратегических составляющих развития предприятия, как правило, является отличительной чертой компаний-лидеров. Однако, размер этого финанси-

ния в современной России ниже, чем у подобных зарубежных компаний. Так, если в японской металлургической компании Nippon Steel расходы на НИОКР за 2005 год составили 1,1 % продаж (а это около 350 млн. \$), то в одной из крупнейших российских компаний – «Северсталь» за 2004 г. подобные расходы составили 0,28 % продаж (12,7 млн.\$). В то же время объективно оценить ситуацию с НИОКР в российских компаниях достаточно сложно, поскольку многие крупные российские компании не публикуют данные о расходах на НИОКР, относя их в разряд коммерческой тайны. В то же время на Западе – публикация таких данных в ежегодных финансовых отчетах компаний – обычная практика.

Существует настоятельная необходимость укрепления конкурентоспособных позиций отрасли за счет повышения удельного веса компаний, которые в качестве основного ресурса своей конкурентоспособности рассматривают масштабные долгосрочные проекты НИОКР, поскольку именно долей таких компаний определяется уровень инновационного развития отрасли. Мировой опыт показывает, что лидеры инновационного развития получают в конечном итоге выгоды за счет наиболее высокой оценкой финансовыми рынками всех видов активов компании. Значительно хуже обстоят дела с финансово неустойчивыми средними и малыми металлургическими предприятиями. Отсутствие у них обоснованных стратегических планов реконструкции и диверсификации производств, сложное экономическое положение не способствуют взаимодействию с организациями, ведущими наиболее перспективные исследования и лидирующие в разработке новейшей технологии. Увеличение финансирования НИОКР, информационного обеспечения, внедрение эффективных технологий и производственных мощностей должны привести к улучшению структуры отрасли. Учитывая недостаток у многих предприятий средств на инвестиционные цели, для совершенствования системы инновационной деятельности целесообразно создать благоприятные условия для предприятий, осуществляющих техническое перевооружение.

В определенных кругах руководителей базовых промышленных предприятий Кузбасса возникает озабоченность ситуацией, сложившейся в системе подготовки специалистов высшей квалификации, способных эффективно решать задачи современного бизнеса. В силу этого кузбасским предприятиям все чаще приходится привлекать менеджеров, подготовленных за пределами нашего региона, несмотря на обилие вузов на территории Кузбасса.

В бизнесе накопилось недовольство сугубо академическими принципами работы высших учебных заведений в сфере подготовки менеджеров. Университеты с традиционными программами и планами работы, в условиях, когда преподавательский состав большей частью не знает реального бизнеса, идут позади стремительно несущегося вперед «локомотива», и не способны не только подготовить эффективные инновационные проекты, опирающиеся на использование современных технологий и финансово-экономических моделей оценки бизнеса, но и подготовить и «удержать» в рамках высшей школы специалистов, с квалификацией, позволяющей ре-

шать эти задачи. Многие молодые высококвалифицированные преподавательские и научные кадры в силу причин, прежде всего финансового характера ушли в производство и бизнес, и достигли там значительных успехов. Два поколения специалистов высшей квалификации оказались потеряны для российских вузов.

Современная рыночная ситуация такова, что конкуренция побуждает предприятия к инновациям, в то время как научно-технические организации не успевают за потребностями производства. Многие российские компании ведут инновационную деятельность путем адаптации технологических решений, разработанных другими, часто зарубежными фирмами, и не рассматривают создание нововведений в качестве ключевой стратегии собственного развития. Такая политика может обеспечивать только локальную конкурентоспособность на национальных рынках, но не гарантирует успеха в конкурентной борьбе на глобальных рынках.

Сегодня, несмотря на исчезновение идеологического противостояния, вопреки многим прогнозам сохранилась многополярность мира, а также достаточно крупный социально-экономический сектор, который называется странами «третьего мира». Но если раньше этот сектор рассматривался, как возможный рынок реализации «сверхнормативных остатков», то сегодня зародившаяся национальная политическая элита стран «третьего мира» позиционирует свою территорию как активно развивающуюся, обменивая природные ресурсы на современные технологии, подкрепленные таким же современным оборудованием, и, что самое главное, не имея собственных высококвалифицированных кадров, просто привлекает их к себе на условиях, от которых трудно отказаться. Рынком, поставляющим такой продукт, является в первую очередь Россия, Китай и ряд стран СНГ, который в ретроспективе накопил большой опыт подготовки научных и инженерных кадров, но в настоящее время не может создать им условия для активной и результативной работы. Такой подход к решению проблемы является весомой предпосылкой для существенного прорыва в области технологий и экономики, и позволяет уйти вперед от стран с традиционно сложившимися параметрами.

Практически спонтанно увеличивается количество торгово-финансовых площадок, резко сокращающих сроки сближения границ. Сближение таких границ безусловно является базой для конфликта интересов, и заканчивается либо слиянием, либо поглощением. У кого большая вероятность выиграть в этой «войне»? Скорее всего у тех, которые не только выберут правильную стратегию, но и сумеют в случае необходимости быстро и эффективно ее изменить. В товаропроизводящем социуме таких стратегий в первом приближении можно выделить три:

- при тех же затратах большее число продукта;
- то же самое количество продукта, но с меньшими затратами;
- при стабильных затратах и стабильном количестве продукта, производство продукта со значительно более высокой добавленной стоимостью, а следовательно и ценой.

Первая стратегия рассчитана на ограниченный, хотя и может быть длительный период времени, и заключается в поиске новых мест для размещения либо своего продукта, который в традиционных местах уже является «сверхнормативным остатком», либо для размещения активов. Динамика такого процесса обязательно должна носить характер насыщения. Обычно это заканчивается стагнацией одного из игроков с последующим слиянием или поглощением, или при переносе более 50 % активов переходом на другую торгово-финансовую площадку. Но так как количество таких площадок ограничено процесс для многих игроков практически «тупиковый».

Вторая стратегия имеет больший жизненный цикл, но требует больших капитальных затрат на модернизацию технологий и оборудования, а также затрат на приобретение новых знаний о возможных ресурсных запасах и оптимального их использования.

Третья стратегия практически не должна знать временных ограничений, так как имеет абсолютно инновационный характер. Но для проектирования, создания и продвижения на рынок совершенно новых потребительских свойств, требуется постоянная генерация высококвалифицированных специалистов практически во всех областях деятельности.

В использовании второй и третьей стратегии, безусловно, выиграет тот, кто заботится не только о подготовке специалистов, активно работающих в сферах науки, производства, экономики и финансов, но и в создании специфической категории специалистов высшей квалификации, которые способны подготовить кадры, востребованные современным рынком. В конечном счете, победит стратегия того игрока на рынке, который сумел обеспечить себя специалистами высокого уровня.

Целесообразно усовершенствовать систему управления вузов в направлении концентрации в них опытных кадров, имеющих не только практический опыт реализации инновационных проектов в производстве и бизнесе, но и достаточно большой стаж научной и преподавательской деятельности. Как шло формирование научной среды в годы, обеспечивающие стране приоритет во многих областях науки и техники? Вокруг задач, носящих фундаментальный характер, которые решались в университетах и технических ВУЗах силами крупных и признанных в мире ученых, формировался круг прикладных задач для решения, которых привлекалась наиболее талантливая студенческая молодежь или специалисты, работающие в секторе реальной экономики, хорошо знающие проблемы производства и отрасли и желающие повысить свою квалификацию. Пройдя все этапы поствузовского обучения, эти люди либо привлекались для подготовки новой генерации кадров, либо пополняли ряды академических или отраслевых научных центров. Часть людей возвращалась на производство, принимая на себя более высокий уровень ответственности, который позволял активно влиять на развитие промышленности. Так создавались многие известные научные школы. Все этому сопутствовала высокая общественная оценка значимости труда научного работника.

К сожалению, в настоящее время сложилась ситуация, в которой готовятся кадры высшей научной квалификации из числа людей даже не предполагающих дальше работать в научной среде. И так как зачастую тематика их квалификационных работ далека от их профессиональных интересов, дальнейшее развитие таких направлений просто невозможно. В результате полное отсутствие возможности создания научных школ и полный отрыв возможностей науки от требований бизнеса. Бизнес никогда не будет платить за возможности, которые нельзя реализовать. Необходимо создание экономических предпосылок, которые позволили бы привлечь в вузовский сектор таких менеджеров, способных передать свой опыт подготовки и реализации проектов в современных рыночных условиях.

Дальнейшее техническое развитие отечественной промышленности неразрывно связано с активизацией инновационной деятельности, а успешная инновационная деятельность в экономике России является одним из главных факторов, влияющих на возможность становления ее в ряд наиболее развитых в мировых державах.

УДК 658

## **КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК КАК ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА**

АКАТЬЕВ П.Н., ПРОШУНИН Ю.Е.

*ОАО «Кузбасский Технопарк»  
г. Новокузнецк*

В конце 2007 г. решением Администрации Кемеровской области создано ОАО «Кузбасский Технопарк», которое в числе восьми наиболее значимых Технопарков Российской Федерации, включено в Федеральную программу государственной поддержки и финансирования. На состоявшемся 26 июня 2008 г. Совете директоров ОАО «Кузбасский Технопарк» принято решение об открытии Южно-Кузбасского филиала центром в Новокузнецке. В принятии решения об организации филиала решающую роль сыграла инициатива Первого заместителя Губернатора Кемеровской области, доктора технических наук, профессора Валентина Петровича Мазикина и Генерального директора ОАО «Кузбасский Технопарк», Советника Губернатора Кемеровской области Петра Николаевича Акатьева. В настоящее время филиал открыт и приступил к работе.

ОАО «Кузбасский технопарк» в силу особенностей Кузбасса, в котором добывается более 30 % используемых в стране углей, причем наиболее ценных низкосернистых с высокой теплотворной способностью, 66,4% всех коксующихся углей, используемых в России (весь ее экспорт), а также учитывая, что последние годы в энергопотреблении развитых стран наблюдает-

ся (эта тенденция характерна в настоящее время и для России) увеличение использования и возрастание значимости твердого топлива, в первую очередь ориентирован на следующие цели:

- развертывание в Кемеровской области глубокой переработки углей и производство продукции с высокой добавленной стоимостью, повышение эффективности использования углей в энергетике, металлургии и химической промышленности;

- обеспечение перевода компаний угольной промышленности на новый технологический уровень, повышение безопасности и эффективности природопользования;

- минимизация техногенного воздействия на окружающую среду и здоровье человека, а также рациональное использование техногенных и вторичных ресурсов.

Основная задача Технопарка – эффективная реализация, коммерциализация научного потенциала научно-технического и образовательного комплекса региона. Технопарк – это организация, в которой необходимо соединить науку, образование и бизнес, а идею, научное открытие превратить в конкурентоспособную продукцию, товар. Фактически он должен представлять собой полноценный научно-исследовательский институт, включающий (или привлекающий на договорной основе) в себя научно-исследовательское и проектное подразделение, централизованную бухгалтерию, планово-финансовый, юридический и маркетинговый отделы. Инфраструктурный комплекс Технопарка должен иметь единое управление, качественную материально-техническую, социально-культурную, сервисную, финансовую, нормативно-правовую и иную базу, созданную и функционирующую с целью эффективного становления, развития и поддержки деятельности малых и средних инновационных предприятий, коммерческого освоения научных знаний, изобретений, ноу-хау и наукоемких технологий и передачу их на рынок.

Особенностью Технопарка является наличие двух принципиально разных направлений деятельности – управления инновациями и управления недвижимостью. Бизнес-единица «Инновационные проекты» будет управлять инновационной деятельностью Технопарка. Одним из основных ее элементов станет бизнес-инкубатор – структура, предназначенная для поддержки малых предприятий, находящихся на начальных стадиях своего развития, путем создания для них благоприятных условий, предоставления им офисных площадей, финансовых, информационных и других ресурсов, создания новых компаний, которые смогут самостоятельно развиваться после выхода из инкубатора. Бизнес-единица «Недвижимость» будет осуществлять строительство и управление объектами недвижимости: офисными зданиями, жилыми и гостиничными помещениями, торгово-развлекательными объектами и объектами инфраструктуры (научно-исследовательский центр, конференц-холл, компьютерный центр и библиотека и т. д.). Объекты недвижимости создаются не только как необходимая инфраструктура для стимулирования

инновационной активности, но и как источник покрытия затрат на инновационную деятельность.

Помимо этого возможен вариант, когда Технопарк (в роли бизнес-инкубатора), участвует в определенной доле в каждом малом инновационном бизнес-резиденте, предоставляет ему льготные условия для получения оборудования в лизинг или в аренду, низкие ставки по аренде помещений и телекоммуникационные услуги по пониженной стоимости. Основная задача подобных бизнес-инкубаторов заключается в развитии производственного бизнеса как такового, безотносительно к инновационной составляющей. В данном случае Технопарк зарабатывает именно на эксплуатации инфраструктуры, а его резидент – на крайне выгодных условиях предоставления этой инфраструктуры. Условия, созданные в бизнес-инкубаторе, позволят его резидентам полностью освободиться от необходимости выполнения вспомогательных и обслуживающих функций и сконцентрироваться на развитии основного инновационного направления деятельности: резиденты бизнес-инкубатора получают возможность аренды офисных, лабораторных и производственных помещений по льготным ставкам; компании бизнес-инкубатора получают доступ к венчурному капиталу; в бизнес-инкубаторе будут предоставляться услуги бухгалтерского и налогового учета, административные, консалтинговые и прочие услуги по льготным ставкам; компании бизнес-инкубатора смогут эффективно продвигать свою продукцию под единым брендом Технопарка. «Якорные» резиденты получают доступ к созданной инновационной инфраструктуре в Технопарке, отслеживание и внедрение новейших разработок и изобретений на самых ранних стадиях их создания решение проблемы с дефицитом кадрового состава предприятий на всех уровнях иерархии. Сервисные компании-резиденты также получают ряд преимуществ от участия в проекте Технопарка: доступ к широкой клиентской аудитории в виде «якорных» резидентов и резидентов бизнес-инкубатора, продвижение своей продукции и услуг под единым брендом Технопарка.

Администрацией Кемеровской области в безвозмездное управление Технопарку передано трехэтажное отдельно расположенное здание общей площадью более 1000 кв. метров. В Кемерово начато строительство объектов недвижимости на выделенных двух строительных участках. Подводящие коммуникации будут сооружаться за счет средств Федерального бюджета, выделяемых в соответствии с Федеральной программой государственной поддержки и финансирования технопарков. Первая сумма (100000000 руб.) уже поступила на расчетный счет Технопарка. Всего же из федерального бюджета в течение двух лет поступит 330000000 руб.

В настоящее время ведется работа по выделению Технопарку объектов недвижимости на юге Кузбасса: решается вопрос о передаче организации здания, расположенного по адресу ул. Свердлова, 20; прорабатывается с Сибирским государственным индустриальным университетом возможность совместного использования старого корпуса по ул. Рудокопрова, 30 и распо-

ложенных рядом корпусов расформированной военной кафедры; ведется активный поиск промышленной площадки для размещения опытных производств.

Для привлечения резидентов и инвесторов Технопарк должен быть ориентирован на поиски и разработку новых инновационных технологий, получение соответствующих прав в отношении результатов интеллектуальной деятельности и осуществление коммерческой эксплуатации этих результатов. Технопарк при этом будет являться основным инвестирующим субъектом, заказчиком исследований и обладателем прав, осуществляя их коммерческую эксплуатацию в отношениях с третьими лицами или с определенной группой резидентов и используя полученные доходы для развития инновационной деятельности. В рамках инновационной инфраструктуры Технопарка предусмотрено наличие централизованной функции по привлечению финансовых ресурсов, обеспечивающей выполнение следующих задач:

- централизованное управление частью привлеченных ресурсов по классической схеме венчурного бизнеса. То есть инвестирование в рискованные инновационные проекты с потенциально высокой доходностью с участием инвестора в уставном капитале и управлении компаний (бизнесов), реализующих эти проекты. Возврат инвестиций при такой схеме финансирования может осуществляться через дивиденды либо продажу доли в этих бизнесах;

- целенаправленный поиск и привлечение недорогих заемных кредитно-финансовых ресурсов на отечественном и зарубежных рынках под бренд Технопарка. Формирование из привлеченных средств инвестиционного пула;

- аккумуляция средств государственной поддержки, средств учредителей Технопарка, некоммерческих профессиональных сообществ, региональных инвесторов.

По указанным направлениям ведется активная работа: решен вопрос о создании венчурного фонда в два миллиарда рублей, проводятся переговоры с потенциальными инвесторами: банками, лизинговыми и страховыми компаниями.

*Льготы и преференции* являются одним из основных инструментов привлечения в Технопарк компаний-резидентов, резидентов бизнес-инкубатора, сервисных резидентов и специализированных «якорных» резидентов. В настоящее время решен вопрос о предоставлении резидентам Технопарка льгот в отношении налогов, формирующих областной бюджет, прорабатывается возможность предоставления льгот по местным налогам. Возможен возврат половины ставки рефинансирования кредитных договоров, заключенных для реализации инновационных проектов.

Очень важным для успешной работы ОАО «Кузбасский Технопарк» является формирование базы инновационных проектов и скорейшее успешное внедрение нескольких из них. И здесь работа ведется достаточно активно. Организован Экспертный совет Технопарка во главе с Председателем

экспертного совета директором Института Угля и углехимии СО РАН, доктором технических наук, профессором В.П. Потаповым. В настоящее время проведено два заседания экспертного совета и защищены 10 инновационных проектов. После утверждения этих результатов Коллегией областной Администрации организации, разработавшие проекты, приобретут статус резидентов ОАО «Кузбасский Технопарк» и получают его официальную поддержку и помощь в реализации.

В настоящее время в экспертный совет ОАО «Кузбасский Технопарк» специалистами Юга Кузбасса подано 15 инвестиционных проектов. Наибольшую активность проявили Сибирский государственный индустриальный университет (подано пять проектов), ООО «Научно-производственный комплекс «Инженерная компания» (три проекта), ФГУП «Научно – производственный центр «Экотехника», ООО «Экомаш» (по два проекта), Некоммерческое предприятие «Экологический региональный центр», ООО «НИЦ-Уголь», ООО «Новокузнецкий котельный завод» (по одному проекту). Два проекта ООО «Экомаш» «Переработка жидких и твердых лежалых отходов коксохимического производства с получением из них пластификатора спекающего, используемого в качестве связующей добавки в угольной шихте» и «Переработка жидких отходов коксохимического производства с получением композиционного топлива, используемого в металлургических тепловых агрегатах», имеющих важное значение для экологической ситуации в Новокузнецке, уже защищены на заседании экспертного совета. Остальные инвестиционные проекты находятся в стадии доработки и предварительной экспертизы. В дальнейшем планируется создать экспертный совет при Южно-Кузбасском филиале для проведения предварительной экспертизы проектов, поданных специалистами юга Кузбасса, что позволит существенно ускорить прохождение документации.

Перспективы экономического развития Технопарка связаны с созданием и приобретением технологий, соответствующих современному уровню и требованиям рынка. Общеизвестно, что только на основе интеллектуальной собственности и грамотного управления ею можно построить конкурентоспособный бизнес, получая нормы прибыли значительно более высокие, чем в сырьевых отраслях. При этом сырьевые ресурсы невозобновляемы, а творческие ресурсы, при создании соответствующих условий, неисчерпаемы. Планируется разработать стандарт ОАО «Кузбасский Технопарк» в области коммерциализации объектов интеллектуальной собственности и ноу-хау (включая их создание, куплю-продажу, учет, инвентаризацию, амортизацию, налогообложение, лицензирование, экономическую и правовую защиту), методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования, регламентирование включения прав на них в уставной капитал предприятий, регламентирование взаимоотношений между ОАО «Кузбасский Технопарк» и Администрацией Кемеровской области, а также стандартные образцы используемых при этом договоров, приказов, заявок и прочих документов,

К основным организационным задачам ОАО «Кузбасский Технопарк» на первом этапе является текущая деятельность: наладка документооборота и взаимодействия с Администрацией Кемеровской области, муниципальными образованиями, инвесторами, резидентами, научными, образовательными, проектными и другими организациями.

Основные мероприятия, которые планируется реализовать под патронажем ОАО «Кузбасский технопарк» будут способствовать развитию инновационных технологий в Кузбассе, воспитанию специалистов, неуклонному росту авторитета и финансового оздоровления:

Разработка областной программы управления отходами. Актуальность ее состоит в том, что Кузбасс занимает первое место в России по количеству образующихся отходов: 1,3 млрд. т в год при общем образовании в России 2,1 млрд. т. Интенсификация добычи и переработки полезных ископаемых в регионе приведет к дальнейшему наращиванию количества образующихся отходов. Значительная масса отходов не перерабатывается и складывается в отвалах, свалках, шламо- и хвостохранилищах, оказывая негативное воздействие на окружающую среду. На территории области зарегистрировано около 3000 объектов размещения отходов, занимающих площадь более 40 тыс. га.

Разработка областной программы управления угольными сырьевыми ресурсами, в которой должны быть отражены: сбалансированное развитие добычи коксующихся и энергетических углей для коксования; развитие технологий отработки маломощных пластов с запасами углей ценных марок; технологий направленных на комплексную разработку угольных пластов с запасами углей менее ценных марок с последующей их глубокой переработкой и получением концентратов с заданными технологическими свойствами для коксования. Актуальность ее обусловлена тем, что реструктуризация угольной отрасли привела к значительному сокращению (на 30 %) добычи коксующихся углей в Кузбассе, в которой доля ценных по технологическим свойствам углей марок Ж, К, КО и ОС существенно снизилась и продолжает уменьшаться. Привлечение для производства концентрата углей пониженной спекаемости и коксуемости, а также неритмичность и некомплектность поставки по марочному составу коксующихся углей на ОФ создают большие сложности по формированию сырьевых баз коксохимических предприятий и обуславливают частую смену состава шихт для коксования, снижение механической прочности металлургического кокса.

Целесообразным представляется широкое привлечение научно-технических предложений не только из соседних регионов: Новосибирской и Томской областей, Алтайского и Красноярского краев, но и Москвы и Санкт-Петербурга и даже стран ближнего зарубежья. В интересах ОАО «Кузбасский Технопарк» повышать научный потенциал региона за счет такого привлечения, а реализацию инновационных проектов производить в Кемеровской области, увеличивая ее экономический потенциал.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОФОСФОРИСТЫХ РУД БАКЧАРСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

ЯКУШЕВИЧ Н.Ф., ЧУЖИНОВА И.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

На данный момент в металлургии существует тенденция к увеличению объемов производства чугуна, стали и металлопроката. Это ведет к значительному росту объемов добычи железной руды, увеличению сырьевой базы металлургических комбинатов, освоению новых месторождений. К примеру, Бакчарское месторождение Томской области, которое является уникальным железорудным месторождением и потенциально долгосрочным источником сырья для металлургических комбинатов. Площадь его несколько сотен квадратных километров, а глубина до 250 м. Железная руда, запасы которой в пределах этой площади составляют около 38 млрд. т, представляет собой плотные гидрогетитовые разновидности с содержанием железа около 35 – 45 %. Добывные возможности месторождения практически неограниченные – от 10 до 50 млн. т в год и более. Оценивается, что возможна шахтная и карьерная добыча на отдельных участках. Надо отметить, что в данном районе хорошо развита инфраструктура – асфальтированная дорога, магистральные нефте- и газопровод, линия электропередач.

Сейчас часть месторождения приобретена холдингом «Метрополь», уже добывается руда методом скважинной гидродобычи (СГД), в процессе которой происходит первичное обогащение добываемой руды.

Разрабатываемые рудные участки характеризуются геологами как полиметаллические с содержанием благородных редкометалльных и редкоземельных элементов, а также тория, ванадия, фосфора, циркония, титана. Выполненные анализы двух проб Бакчарской руды показали следующее содержание в них ценных металлов: Co, Be, Mo, Ge, Sn менее  $(1-3) \cdot 10^{-4}$  %; Ni, Hf, Sr, In, Sc, W, Nb, Cu, I, Sb менее  $(1-3) \cdot 10^{-3}$  %; Ta, Ga, La менее 0,01 %; V, Mn, Ti, Zr, Cr менее 0,2 – 0,3 %.

В перспективе рассматривается возможность организации в Томске металлургического производства, а именно, строительство мини-заводов производительностью до 2 млн. т в год стали с доизвлечением сопутствующих компонентов, в том числе редких металлов и РЗМ.

Бакчарская железная руда является высокофосфористой, с содержанием  $P_2O_5$  до 1 %, поэтому, технология плавки стали должна быть специфичной – обеспечивающей получение качественного металла и одновременно извлечение фосфора в высокофосфористый шлак с последующей переработкой.

Рассмотрены разные варианты организации производства: получение

металлизированных окатышей в печах шахтного типа, плавка чугуна в рудотермической печи из необогащенной руды, плавка стали в электропечах с разными вариантами загрузки шихты (таблица 1). Наиболее целесообразным и экономичным является вариант с предварительным скачиванием первичного шлака и последующим наведением железисто-известкового шлака с целью наиболее полного извлечения фосфора. Высокофосфористые шлаки, содержащие более 20 %  $P_2O_5$ , примерно 20 % FeO и до 40 % CaO, в дальнейшем могут перерабатываться методом алюминотермического восстановления фосфора из фосфатов кальция, а получающийся попутный продукт – синтетические высокоглиноземистые (60 – 70 %  $Al_2O_3$ ) кальций-алюминатные шлаки, могут использоваться как клинкер для изготовления высших марок жаростойких высоко глиноземистых цементов, имеющие большой спрос для производства жаростойких огнеупорных изделий, бетонов и торкретмасс.

Таблица 1 – Характеристики плавков получения чугуна и стали из железной руды Бакчарского месторождения

Расчетные показатели плавков		Железная руда (ЖР) + кокс	Железорудный концентрат (ЖРК) + кокс	Лом + чугун + окатыши из ЖРК (1:1:2)	Лом + окатыши из ЖРК (1:3)	Лом + чугун + окатыши из ЖРК со сливом шлака (1:1:2)
Варианты плавков:		1	2	3	4	5
Расход сырьевых материалов на 1 т стали, кг	ЖР	2137,0	-	-	-	-
	ЖРК	-	1685,4	-	-	-
	кокс	377,3	342,1	-	-	-
	лом	-	-	307,5	330,1	301,0
	чугун	-	-	307,5	-	301,0
	окатыши	-	-	615,1	990,4	602,0
	известь	619,7	197,2	123,0	198,1	90,3
Выход чугуна при восстановительной плавке*, % от руды		50,7	64,1	-	-	-
Состав чугуна, %	Fe	93,61	93,43	-	-	-
	Si	1,21	1,07	-	-	-
	V	0,10	0,22	-	-	-
	C	4,19	4,13	-	-	-
	Mn	0,49	0,42	-	-	-
	P	0,39	0,74	-	-	-
Выход шлака при восстановительной		1191,3	421,2	-	-	201,4

плавке на 1 т металла, кг					
---------------------------	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 1

Расчетные показатели плавов		Железная руда (ЖР) + кокс	Железорудный концентрат (ЖРК) + кокс	Лом + чугуны + окатыши из ЖРК (1:1:2)	Лом + окатыши из ЖРК (1:3)	Лом + чугуны + окатыши из ЖРК со сливом шлака (1:1:2)
Состав низкофосфористого шлака, %	SiO <sub>2</sub>	43,09	35,12	-	-	36,35
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,22	-	-	0,21
	MnO	0,13	0,32	-	-	0,90
	TiO <sub>2</sub>	0,50	1,15	-	-	1,08
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,26	21,59	-	-	19,16
	FeO	0,66	0,66	-	-	5,84
	MgO	1,79	2,35	-	-	0,73
	CaO	45,52	38,54	-	-	35,28
	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,05	-	-	0,45
Основность низкофосфористого шлака		1,1	1,2	-	-	1,0
T <sub>пл.</sub> шлака, °C		1420	1400	-	-	1400
Выход стали при окислительной плавке**, на 1 т металлосодержащего сырья, кг		468,0	593,3	812,9	757,3	830,6
Состав стали, %	Fe	99,42	99,46	99,34	99,49	99,58
	Mn	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04
	V	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03
	Si	0,39	0,35	0,50	0,35	0,25
	C	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	P	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Выход шлака при окислительной плавке, % от выпуска стали		17,0	11,4	29,3	45,5	5,6
Состав высокофосфористого шлака с добавкой извести, %	SiO <sub>2</sub>	27,98	22,24	24,37	24,28	7,23
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,12	14,74	3,83	3,10	19,46
	MnO	3,68	4,64	1,53	1,00	4,94
	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,08	3,30	0,81	0,60	1,99
	TiO <sub>2</sub>	0,19	0,23	0,77	0,80	0,20
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,14	4,31	13,70	14,22	3,54

	FeO	15,62	17,22	11,48	10,84	19,32
	MgO	0,68	0,47	0,52	0,54	0,13
	CaO	42,51	32,85	42,98	44,62	43,18

Продолжение таблицы 1

Расчетные показатели плавов	Железная руда (ЖР) + кокс	Железорудный концентрат (ЖРК) + кокс	Лом + чугун + окатыши из ЖРК (1:1:2)	Лом + окатыши из ЖРК (1:3)	Лом + чугун + окатыши из ЖРК со сливом шлака (1:1:2)
Основность высокофосфористого шлака	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6
T <sub>пл.</sub> шлака, °С	1600	1550	1650	1650	1600
* – характерна для вариантов 1 и 2 с промежуточным получением чугуна и сливом шлака до 95 %.					
** – для вариантов 1, 2 и 5 является второй стадией с новым наведением шлака при получении стали; переплав лома, чугуна и окатышей (варианты 3 и 4) производятся без слива шлака, вариант 5 – со сливом до 95 % и наведением высокофосфористого железисто-известкового шлака.					

На 1 т высокофосфористого шлака может быть получено 300 кг двойного суперфосфата и 600 – 700 кг высокоглиноземистого шлака. Дальнейшая обработка стали осуществляется вне печи, в установках доводки металла (УДМ), ковш-печи, вакууматорах, а разливка производится на МНЛЗ квадратного и слябового типа.

На территории Томской области расположено Таловское месторождение бурых углей, запас которых оценивается в 3,6 млрд. т, которые могут рассматриваться в качестве восстановителей при получении металлургического сырья. Однако выход смол этих углей составляет около 18 %, что не позволяет их использование в неподготовленном виде в металлургическом производстве. Необходимо получение из них полукоксов с содержанием летучих порядка 5 – 8 %. Работа на таком полукоксе обеспечивает снижение температуры начала восстановления, увеличение в несколько раз скорости химических реакций за счет высокой степени адсорбции и диффузии водорода на поверхности руды и углеродистого материала. Это дает возможность использования получаемых полукоксов бурых углей для изготовления металлургических окатышей в шахтных печах при пониженных температурах, что обеспечивает высокую прочность агрегатов, пониженную спекаемость и облегчение процесса восстановления оксидов железа в целом.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ НА СОРТОВОЙ МНЛЗ

Комшукوف В.П., Черепанов А.Н., Протопопов Е.В., Ганзер Л.А.

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,  
Сибирский государственный индустриальный университет,*

*г. Новокузнецк*

*Институт теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича Сибирского отделения РАН*

*г. Новосибирск*

Теплофизическим особенностям формирования непрерывнолитого слитка посвящено значительное количество работ, однако нестационарные явления, обусловленные переходными процессами, например, в начале разливки, при возобновлении литья после остановок или когда по тем или иным технологическим причинам возникает необходимость менять режим разливки: изменять скорость вытягивания заготовки и (или) интенсивность теплоотдачи в зоне вторичного охлаждения, остаются недостаточно изученными.

Для исследования процесса кристаллизации стали воспользуемся приближением квазиравновесной двухфазной зоны для многокомпонентного сплава [1 – 3], которое рассмотрено нами ранее в работе [4].

При использовании шлакообразующей смеси в контакте со стенками кристаллизатора по всей его высоте находится только часть поверхности слитка. Следовательно, между слитком и стенкой гильзы кристаллизатора осуществляется сложный теплообмен излучением, молекулярной теплопроводностью через пленку расплава шлакообразующей смеси и газовый зазор, а также контактный теплообмен в зонах плотного соприкосновения поверхностей слитка и гильзы.

В работе [5] для определения коэффициента теплопередачи от слитка к охлаждающей воде вводится в рассмотрение эмпирическая величина, характеризующая относительную площадь контакта. Ниже рассматривается само согласованное вычисление этого коэффициента, учитывающее усадку (расширение) металла и конусность гильзы кристаллизатора. Запишем выражение для коэффициента теплопередачи от слитка к гильзе кристаллизатора в виде

$$K_{a,b} = \left[ \frac{\delta_{sh}}{\lambda_{sh}} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{(\alpha_r + \lambda_g / \delta_g^{a,b}) \cdot \psi(\delta_g^{a,b}) + \alpha_c} \right]^{-1}, \quad (1)$$

где  $\delta_{sh}$  и  $\lambda_{sh}$  – толщина и теплопроводность шлаковой пленки;

$\delta_k$  и  $\lambda_k$  – толщина и теплопроводность стенки гильзы кристаллизатора;

$\alpha_e$  – коэффициент теплоотдачи к воде в кристаллизаторе;

$$\alpha_r = \sigma_0 \varepsilon_{\Pi} (T^2 + T_{\kappa}^2) \cdot (T + T_{\kappa});$$

$\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана;

$\varepsilon_{\Pi}$  – приведенная степень черноты поверхности слитка в кристаллизаторе;

$T_{\kappa}$  – температура поверхности гильзы кристаллизатора;

$\delta_g^{a,b}$  и  $\lambda_g$  – ширина (со стороны граней a и b) и теплопроводность среды газового зазора соответственно;

$\alpha_c$  – коэффициент контактной теплоотдачи;  $\psi(\delta_g^{a,b}) \equiv 0$  при  $\delta_g^{a,b} \leq 0$ .

Коэффициент теплоотдачи от стенки гильзы кристаллизатора к воде при  $Re > 10$  определим согласно данным работы [6]

$$\alpha_g = \frac{\lambda_g}{\delta_g} \cdot \frac{(\xi/8) Re Pr}{1,07 + 12,7 \sqrt{\xi/8} (Pr^{2/3} - 1)},$$

$$\xi = (1,821g Re - 1,64)^{-2}, Re = 2\delta_g w_g / \nu_g, Re = \nu_g / a_g, \quad (2)$$

где  $\delta_g$ ,  $w_g$ ,  $\nu_g$  и  $a_g$  – ширина водоохлаждающего канала в кристаллизаторе, скорость течения воды, ее кинематическая вязкость и температуропроводность, соответственно.

Ширину газового зазора для конической гильзы определяем как

$$\delta_g^{a,b} = \frac{\beta_e}{4} (T_s - T_p) \cdot l_{b,a} - k_k (z - z_M),$$

где  $\beta_e$  – эффективный коэффициент расширения металла с учетом усадочных процессов в двухфазной зоне и затвердевшей корочке;

$T_s$  и  $T_p$  – температура солидуса сплава и поверхности;

$l_{a,b}$  – длина соответствующей грани ( $l_a = 2a, l_b = 2b$ );

$k_k$  – коэффициент, характеризующий конусность кристаллизатора;

$z_M$  – высота жидкого мениска; в точках, где  $\delta_g^{a,b} < 0$ , принимаем

$$\delta_g^{a,b} \equiv 0.$$

Величина  $\alpha_c$  в общем случае зависит от условий контакта поверхности слитка и кристаллизатора. Если этот контакт обеспечивается внешним давлением  $P_{\text{вн}}$ , то для определения  $\alpha_c$  можно воспользоваться формулой [2]

$$\alpha_c = 2,1 \cdot 10^4 \lambda_e ((P_{\text{вн}} \lambda_e / (3\sigma_n))), \quad (3)$$

где  $\lambda_e = 2\lambda_3 \lambda_{\kappa} / (\lambda_3 + \lambda_{\kappa})$  – приведенный коэффициент теплопроводности;

$\sigma_n$  – предел прочности корочки слитка

Величина  $P_{\text{вн}}$  определяется ферростатическим давлением расплава, т.е.

$P_{\text{вн}} = \rho_1 g z$ , где  $g$  – гравитационное ускорение.

Из выражения (3) видно, что с уменьшением параметра  $P_{en}$  значение  $\alpha_c$  убывает. Однако на уровне мениска расплава значение  $\alpha_c$  не равно нулю, поскольку с возрастанием температуры корочки уменьшается ее прочность, кроме того, в области жидкого мениска имеет место иной механизм контакта (адгезия), который обеспечивает соответствующую теплоотдачу.

Примем, что скорость поступления расплава шлакообразующей смеси в зазор между слитком и гильзой равна скорости  $v$  вытягивания слитка и что  $\gamma_{sh}$  – расход этой смеси на единицу массы металла. Тогда для массового секундного расхода смеси  $\dot{m}_{sh}$  имеем

$$\dot{m}_{sh} = 4\gamma_{sh}ab\rho_1,$$

а для толщины пленки расплава смеси получим

$$\delta_{sh} = \frac{\dot{m}_{sh}}{4v(a+b)\rho_{sh}} = \frac{\gamma_{sh}ab\rho_1}{(a+b)\rho_{sh}}; \quad (4)$$

здесь  $\rho_{sh}$  – плотность расплава шлакообразующей смеси.

Для условий форсуночного охлаждения слитка в зоне вторичного охлаждения в работах [2-4, 9] приводится зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от объемной плотности орошения в виде линейной функции

$$\alpha = \alpha_0 + K_0 g_s, \quad (5)$$

в которой  $\alpha_0 = 150 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ,  $K_0 = 38 \text{ (Вт}\cdot\text{ч)}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ .

Суммарный коэффициент теплоотдачи за счет излучения и конвекции определим по формуле

$$\alpha_{a,d}^a = \varepsilon_a \sigma_0 \times (T_{|a,b}^2 + T_a^2) (T_{|a,b} + T_a) + 0,135(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/3},$$

где  $\varepsilon_a$  – приведённая степень черноты поверхности слитка;

$\text{Gr} = h_{ag}^3 \beta_a \Delta T_a / \nu_a^2$  – число Грасгофа;

$h_a$  – длина слитка, охлаждаемая воздушной средой;

$\beta_a$  и  $\nu_a$  – коэффициент расширения и кинематическая вязкость воздуха соответственно;

$\text{Pr} = \nu_a / a_a$  – число Прандтля;

$a_a$  – температуропроводность воздуха.

При переходных режимах разливки стали на МНЛЗ существуют три возможных варианта изменения интенсивности теплосъема в каждой секции ЗВО: мгновенное изменение параметра  $\alpha$  от заданного до нового значения, линейное изменение в течение времени  $\tau_{nep}$  переходного процесса и оптимальное, которое характеризуется минимальным отклонением температуры поверхности слитка от заданного ( $\Delta T$ ).

В соответствии с [7] предложена зависимость для параметра  $\alpha$ , которую представим в следующем виде:

$$\alpha^j(\tau) = \alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) \left[ 1 - \left( (\tau_2^j - \tau) / \tau_r^j \right)^n \right]^{1/n}; \quad (6)$$

здесь  $\tau_1^j$  и  $\tau_2^j$  – время начала и конца переходного режима;

$$\tau_r^j = \tau_2^j - \tau_1^j;$$

$\tau$  – текущее время  $\tau_1^j \leq \tau \leq \tau_2^j$  перехода от одного режима литья со скоростью разливки  $v_1$  и коэффициентом теплообмена  $\alpha_1$  до второго – со скоростью разливки  $v_2$  и соответствующим коэффициентом  $\alpha_2$ ;

$n = 1,5$  и  $n = 1,25$  при снижении и при повышении скорости разливки.

Время конца переходного процесса для  $j$ -й секции определим как

$$\tau_2^j = \tau_1^j + \bar{L}_j / v_1, \quad (7)$$

где  $\bar{L}_j$  – расстояние от мениска металла до середины  $j$ -й зоны охлаждения.

Формула (7) позволяет оценить время перехода от режима охлаждения в секциях ЗВО, соответствующего разливке со скоростью  $v_1$  к режиму разливки со скоростью  $v_2$ , а формула (6) – соответствующие значения коэффициентов теплоотдачи в этих секциях в переходный период. Для определения необходимых расходов воды воспользуемся соотношением (5), откуда следует

$$g_s^j = (\alpha^j - \alpha_0) / K_0, \quad (8)$$

или, определив значения  $\alpha_1^j$ ,  $\alpha_2^j$  согласно соотношению (5) и подставив их выражение в (6), получим для  $g^j$  из уравнения (8) следующую зависимость:

$$g_s^j = g_2^j + (g_2^j - g_1^j) \cdot \left[ 1 - \left( (\tau_2^j - \tau) / \tau_r^j \right)^n \right]^{1/n} \quad (9)$$

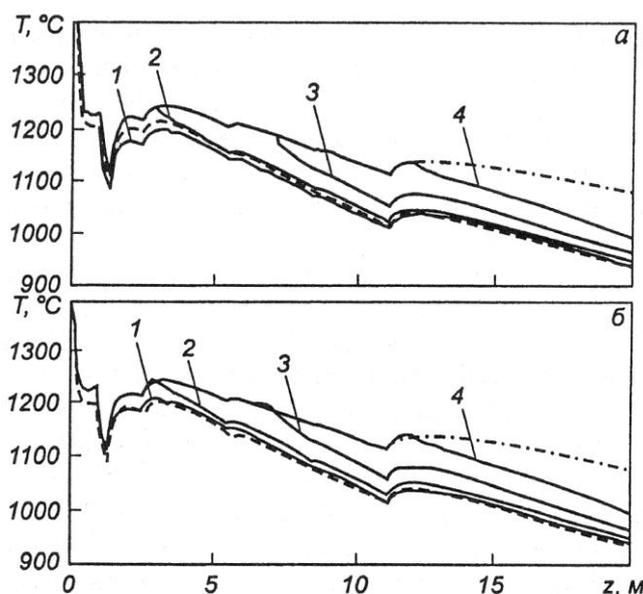
в которой  $g_1^j$  и  $g_2^j$  – плотности расходов воды в  $j$ -й секции до и после переходного процесса.

При численной реализации задачи с учетом соотношений (1)-(9) применялся алгоритм, основанный на балансной разностной схеме. Вдоль переменных  $x$ ,  $y$ ,  $z$  использовались равномерные сетки. В случаях, когда затравка неподвижна или происходит остановка вытяжки, шаг по времени  $\Delta t$  выбирается произвольно, ограничением являются лишь требования устойчивости и сходимости итераций при расчетах. В режиме движения заготовки необходимо выполнение дополнительного условия  $\Delta t = \Delta z / v$ , где  $\Delta z$  – шаг вдоль оси  $z$ .

В качестве примера приведем результаты исследования переходных процессов при разливке стали марки 08К в квадратный слиток размером 150×150 мм. Длина кристаллизатора 0,85 м. Длины секций ЗВО: 0,4, 1,1, 2,75, 2,87 и 2,7 м, соответственно. Номинальные расходы воды  $g_1^j$  по секци-

ям при штатных режимах разливке  $v_1 = 2,0$  м/мин составляли 82, 77, 100, 70 и 60 л/мин в нулевой, первой, второй, третьей и четвертой секциях; при  $v_2 = 2,8$  м/мин – соответственно 99, 92, 120, 84 и 72 л/мин. Результаты расчета представлены на рисунках 1 и 2.

На рисунке 1 показан характер изменения температуры середины поверхности слитка вдоль координаты  $z$  для случая изменения скорости вытягивания с  $v_1 = 2,0$  м/мин до  $v_2 = 2,8$  м/мин при безинерционном (мгновенном) изменении расходов охлаждающей воды в секциях согласно номинальным значениям, соответствующим указанным скоростям разливки и регулируемом в соответствии с формулой (9) охлаждении. На рисунках при  $z < 0,85$  в области кристаллизатора кривые сливаются. При  $z = 0$  все они выходят из точки  $1560$  °С по шкале температуры. Как видно из графика, в случае нерегулируемого теплосъема происходит некоторое переохлаждение поверхности слитка в первой секции с последующим ее разогревом (при выходе на новый установившийся режим) на величину  $\Delta t \geq 50$  °С. В регулируемом режиме это отклонение составляет порядка  $20$  °С.

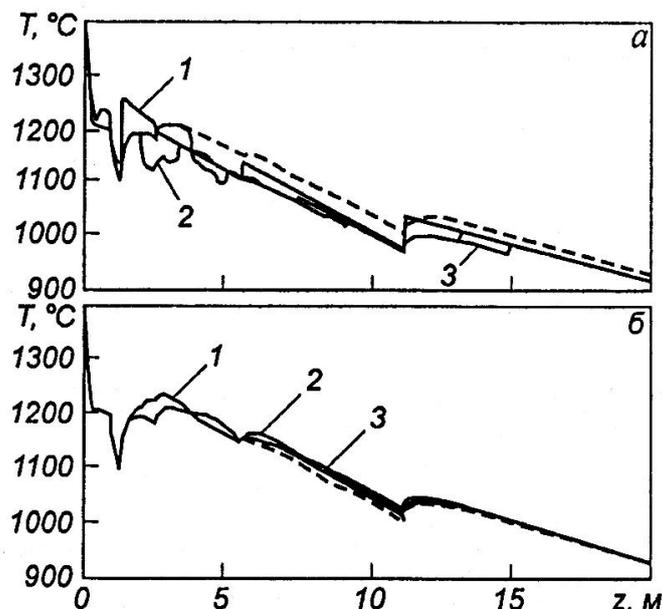


штриховые и штрих-пунктирные линии – профили температур в установившихся процессах разливки при  $v = 2$  м/мин и  $v = 2,8$  м/мин соответственно; сплошные линии – профили температур в переходном режиме через 15 с (1), 60 с (2), 150 с (3) и 240 с (4) после изменения скорости вытягивания

Рисунок 1 – Изменение вдоль оси  $z$  температуры середины поверхности грани при мгновенном изменении скорости вытягивания слитка в случаях неоптимизированного (а) и оптимизированного (б) переходных режимов теплосъема в ЗВО

На рисунке 2 представлены кривые изменения температур вдоль оси  $z$  в середине его поверхности при мгновенной остановке и последующем запус-

ке вытягивания слитка через 40 с. В этом случае рассматривались два периода переходного процесса: 1) скорость вытяжки в некоторый момент времени, принимаемый за начальный ( $t = 0$ ), мгновенно меняется от 2 м/мин до нуля и слиток остается неподвижным в течение 40 с; 2) по истечении 40 с процесс разливки возобновлялся с исходной скоростью вытягивания 2 м/мин. Расход воды  $g_1^j$  в секциях до остановки равнялся приведенным выше номинальным значениям, соответствующим скорости  $v_1 = 2$  м/мин.



штриховые линии – профиль поверхностной температуры в стационарном режиме разливки; сплошные линии – профили температур в переходных периодах разливки в различные моменты времени; 1 – в конце остановки при  $t = 40$  с; 2 и 3 – через 60 и 150 с после начала движения

Рисунок 2 – Изменение вдоль оси  $z$  температуры середины поверхности грани при разливке с остановкой на 40 с вытягивания слитка и последующим запуском процесса вытягивания с исходной скоростью 2 м/мин в случаях неоптимизированного (а) и оптимизированного (б) теплосъемов в ЗВО в переходных режимах охлаждения

На рисунке 2, а приведено изменение поверхностной температуры при обычном (неоптимизированном) режиме охлаждения, когда после остановки расход воды в каждой секции мгновенно уменьшается до некоторого штатного значения, равного 36, 33, 50, 50 и 50 л/мин, а после возобновления процесса вытягивания слитка также мгновенно возвращается к исходному номинальному значению. При оптимизированном теплосъеме (рисунок 2, б) после остановки режим охлаждения в секциях в течение 40 с изменялся согласно закону (9) от исходных номинальных значений  $g_1^j$  до заданных  $g_2^j$ ;  $\tau_r^j = 40$  с,  $\tau_2^j = \tau_r^j, \dots, \tau_1^j$ . Закон изменения расхода воды в  $j$ -й секции во вто-

ром периоде переходного процесса (после возобновления вытягивания слитка) осуществлялся также согласно зависимости (9), при этом за исходные расходы  $g_1^j$  воды брались значения  $g_2^j$ ; а за конечные – номинальные значения, соответствующие установившемуся режиму охлаждения при разливке со скоростью 2 м/с. Время переходного процесса для каждой секции составляло  $t_r^j = L_j / v_1$ ;  $t_2^j = L_j / v_1 + 40$  с;  $40$  с  $\leq t \leq L_j / v_1 + 40$  с.

Из рисунка 2, а нетрудно видеть, что в случае нерегулируемого охлаждения в конце остановки происходит чрезмерный (до абсолютных значений свыше 1250 °С) разогрев корочки слитка в первой секции, а после запуска – переохлаждение поверхностных слоев металла более чем на 100 °С. Это может привести к аварии с прорывом жидким металлом оболочки слитка или к ухудшению его качества вследствие образования трещин, обусловленных развитием высоких термических напряжений в затвердевшей корке. Применение регулируемого охлаждения (рисунки 2, б) позволяет достаточно плавно менять поверхностную температуру в течение всего переходного процесса, не допуская чрезмерных перегревов и переохлаждений поверхностных слоев затвердевшего металла.

Заметим, что рассмотренные здесь процессы как повышения на 40 % скорости, так и остановки разливки на 40 с, не приводят к заметному изменению распределения температуры по оси z, формы и глубины металлической лунки. Существенное изменение этих величин, в результате которого могут образоваться замкнутые полости жидкого металла с мостиками (локальным переохлаждением центральных областей слитка), проявляется при остановках на время более 5 – 10 мин, что может способствовать развитию пористости вследствие затруднения питания замкнутых полостей.

Таким образом, разработанная трехмерная нестационарная математическая модель формирования прямоугольного сортового слитка в МНЛЗ, позволяет изучать переходные процессы при непрерывной разливке стали различных марок и сечений. Показано, что для оптимизации процесса разливки необходим регулируемый расход охлаждающей воды в каждой секции зоны вторичного охлаждения по определенному закону в течение всего переходного периода. В условиях массового производства отработаны оптимизированные режимы разливки и охлаждения слитка, обеспечивающие безаварийную работу МНЛЗ и получение качественной продукции, в том числе и при увеличении скорости разливки.

#### Библиографический список

1. Борисов В.Т. Теория двухфазной зоны металлического слитка. – М.: Металлургия, 1986. – 232 с.
2. Журавлев В.А. О макроскопической теории кристаллизации сплавов // Изв. АН СССР. Металлы. – 1976. – № 5. – С. 93 – 99.
3. Черепанов А.Н. К макроскопической теории неравновесной кристаллизации сплавов (Сообщение 2) // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1988. – № 4.

– С. 50 – 54.

4. Черепанов А.Н., Попов В.Н., Комшуков В.П., Фойгт Д.Б.. Численное исследование переходных процессов при разливке стали в машине непрерывного литья сортовых заготовок // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2006. – № 6. – С. 40 – 45.
5. Самойлович Ю.А., Крулевецкий С.А., Горяинов В.А. и др. Тепловые процессы при непрерывном литье стали. – М: Металлургия, 1982. – 152 с.
6. Нисковских В.М., Карлинский С.Е., Беренов А.Д. Машины непрерывного литья слябовых заготовок. – М.: Металлургия, 1991. – 272 с.
7. Самарский А. А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977. – 656 с.

УДК 669.184

## **ИЗУЧЕНИЕ ЛИКВАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СЛИТКАХ КАЧЕСТВЕННОЙ КИПЯЩЕЙ СТАЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

УМАНСКИЙ А.А., ПРАХОВ А.Е., ЧЕРНЫШЕВА Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»  
г. Новокузнецк*

Химическая неоднородность (ликвация) относится к естественным дефектам слитка, то есть к возникающим неизбежно в процессе его кристаллизации. Наличие ликвации в слитке связано с тем, что растворимость ряда примесей в твердом железе ниже, чем в жидком. Поэтому растущие при затвердевании оси кристаллов содержат меньшее количество примесей, чем исходная сталь (избирательная кристаллизация), а оставшийся жидкий металл соответственно обогащается повышенным количеством примесей.

Степень ликвации определяется по формуле:

$$\eta = \frac{C_{MAX} - C_{MIN}}{C_{КОВШ}} \times 100\% ,$$

где  $C_{MAX}$  и  $C_{MIN}$  – максимальное и минимальное содержание элемента в стали, определенное химическим анализом, %;

$C_{КОВШ}$  – ковшовая проба по данному элементу, %.

Различают ликвацию двух видов: дендритную – неоднородность стали в пределах одного кристалла и зональную – неоднородность состава стали в различных частях слитка. Зональная ликвация достигает большей абсолютной величины, чем дендритная. Из химических элементов обязательно присутствующих в стали любой марки наиболее подвержены ликвации: сера, фосфор и углерод.

В слитках кипящей стали химическая неоднородность развита наиболее сильно в связи с тем, что процессы кристаллизации таких слитков про-

ходят при одновременном интенсивном газообразовании. Поэтому для уменьшения химической неоднородности стали процесс кипения прекращают вскоре после наполнения изложницы. Для этого применяют два способа: механическое закупоривание – накрывание слитка массивной металлической крышкой; химическое закупоривание – раскисление металла в верхней части слитка алюминием или силикокальцием.

Большинство исследователей выделяют следующие факторы, оказывающие значимое влияние на величину зональной ликвации слитков кипящей стали [1 – 3]:

1. Скорость кристаллизации. Повышение скорости кристаллизации способствует снижению степени химической неоднородности.

2. Масса слитка. В слитках большой массы ликвация выражена более сильно, чем в маленьких слитках.

3. Продолжительность кипения металла в изложнице. При увеличении продолжительности кипения степень химической неоднородности увеличивается.

4. Температура и скорость разливки. При увеличении температуры и скорости разливки стали степень химической неоднородности повышается из-за увеличения времени кристаллизации слитка и снижения вязкости стали.

На ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» качественная кипящая сталь марок 10кп, 15кп, 20кп разливается в уширенные книзу сквозные изложницы. Масса слитков составляет 11,5 т, для снижения продолжительности кипения металла применяют технологию химического закупоривания алюминием.

В 2003 г. для слитков из сталей вышеперечисленных марок внедрена новая технология транспортировки и нагрева – технология нагрева слитков с повышенным теплосодержанием [4]. При использовании такой технологии сокращено время транспортировки слитков от разливочной площадки до нагревательных колодцев обжимного цеха, в результате чего слитки поступают в посад с повышенной температурой (от 885 до 930 °С). Применение новой технологии транспортировки и нагрева слитков позволило значительно улучшить технико-экономические показатели работы обжимного цеха. За счет уменьшения времени нахождения слитков в нагревательных колодцах расход топлива на нагрев слитков снизился на 6 кг у.т./тонн, отсортировка заготовок по дефектам поверхности снизилась на 4 % [5].

В то же время при использовании технологии нагрева слитков с повышенным теплосодержанием увеличивается время кристаллизации металла в осевых слоях слитка, что может привести к увеличению степени химической неоднородности. Поэтому потребовалось дополнительно изучить произошедшие изменения условий кристаллизации и их влияние на качество слитков. Необходимость данного исследования обусловлена повышенными требованиями к химическому составу и механическим свойствам проката из качественных кипящих сталей для холодной высадки, производимых по

ГОСТ 10702-78.

С использованием разработок Днепропетровского металлургического института [6] провели расчет изменения температуры различных слоев слитка в процессе кристаллизации для времени охлаждения слитка на воздухе 1 час 30 мин. (посад в нагревательные колодцы слитков с температурой 910 °С). Рассчитали изменение температуры в точках, соответствующих осевому и поверхностному слоям слитка в тепловом центре (58 % от донной части) и самом холодном месте слитка (10 % от донной части). По полученным данным изменение условий кристаллизации может оказать влияние на изменение химической неоднородности только вблизи теплового центра слитка (58 % от донной части), металл в остальном объеме слитка к моменту посадки в нагревательные колодцы уже находится в твердом состоянии (рисунок 1).

Для изучения характера распределения основных химических элементов по высоте слитков провели отбор проб от заготовок стали 20кп плавок текущего производства, слитки которых нагревались по различным технологиям. В результате проведенного химического анализа темплетов установлено, что характер ликвации углерода, серы и фосфора по высоте слитков, нагретых по различным технологиям, практически одинаков: в верхних 2/3 высоты слитка наблюдается положительная ликвация (превышение содержания химических элементов относительно среднего уровня). Для всех химических элементов положительная ликвация переходит в отрицательную начиная с уровня 63,2 – 71,8 % от головной части слитка (рисунки 2 – 4).

Для слитков, нагретых по различным технологиям, максимальная положительная ликвация серы и фосфора одинакова, а максимальная положительная ликвация углерода отличается незначительно (на 1,5 или 0,002 % в абсолютных значениях) и находится в пределах погрешности исследования.

Максимальная отрицательная ликвация углерода, серы и фосфора имеет несколько большую величину, на слитках нагретых по технологии с повышенным теплосодержанием: для углерода и серы – на 5,3 %, для фосфора – на 12,5 %. В абсолютных значениях это составляет: для углерода – 0,007 %, для серы и фосфора – 0,001 %. Как видно увеличение степени химической неоднородности в этом случае также незначительно. Кроме того, максимальная отрицательная ликвация углерода, серы и фосфора получена на уровне 89 – 97 % от головной части слитка (или 3 – 11 % от донной части слитка) и, как было показано выше (см. рисунок 1), в рассматриваемом временном интервале данная часть слитка находится уже в полностью закристаллизовавшемся состоянии.

Дополнительно исследовали влияние технологии нагрева слитков на механические свойства проката: твёрдость, временное сопротивление, относительное сужение (таблица 1). Видно, что механические свойства проката, полученного из слитков, нагретых по различным технологиям, находятся практически на одном уровне и соответствуют требованиям ГОСТ.

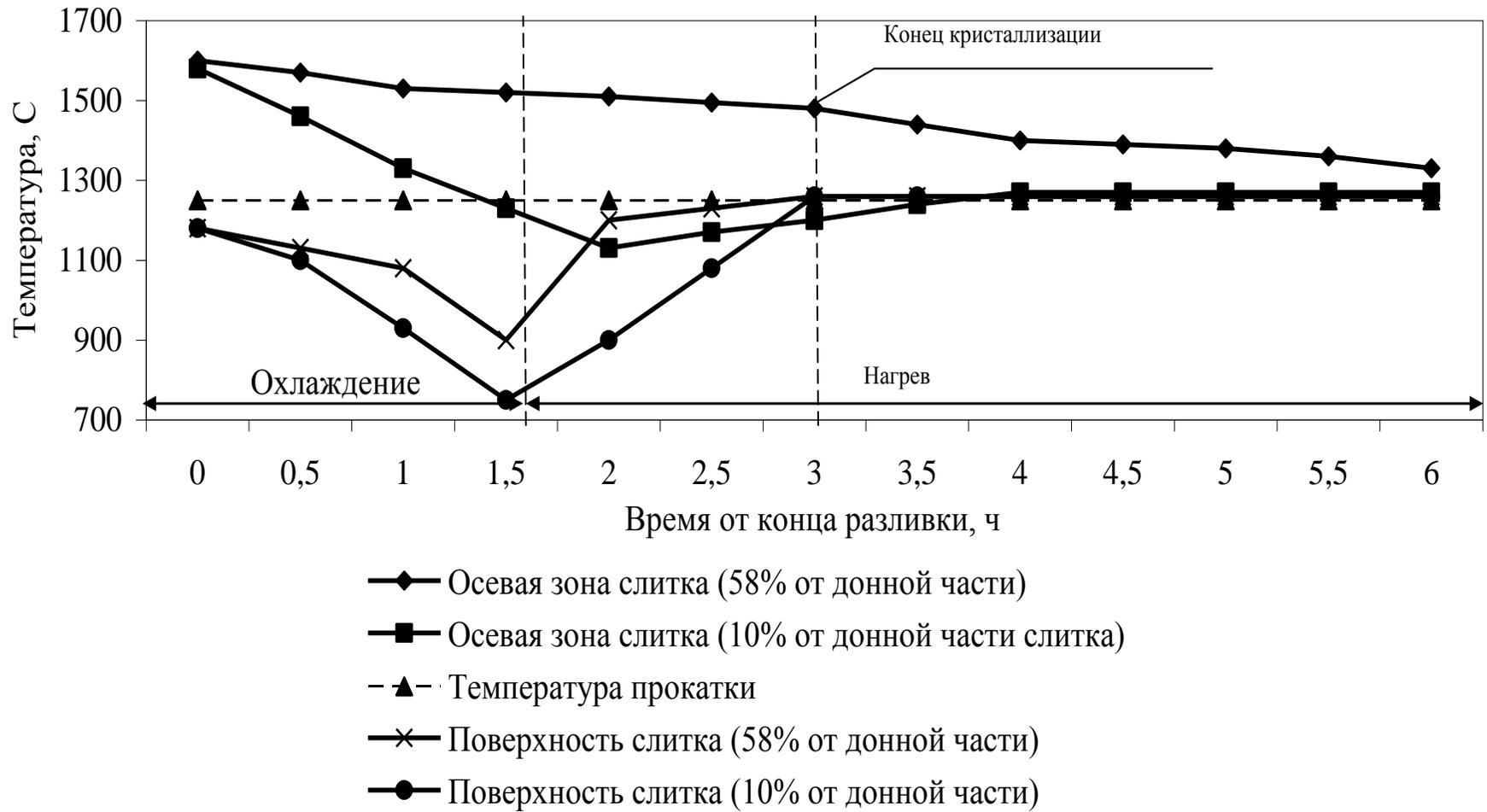


Рисунок 1 – Динамика изменения температуры слитка по мере кристаллизации

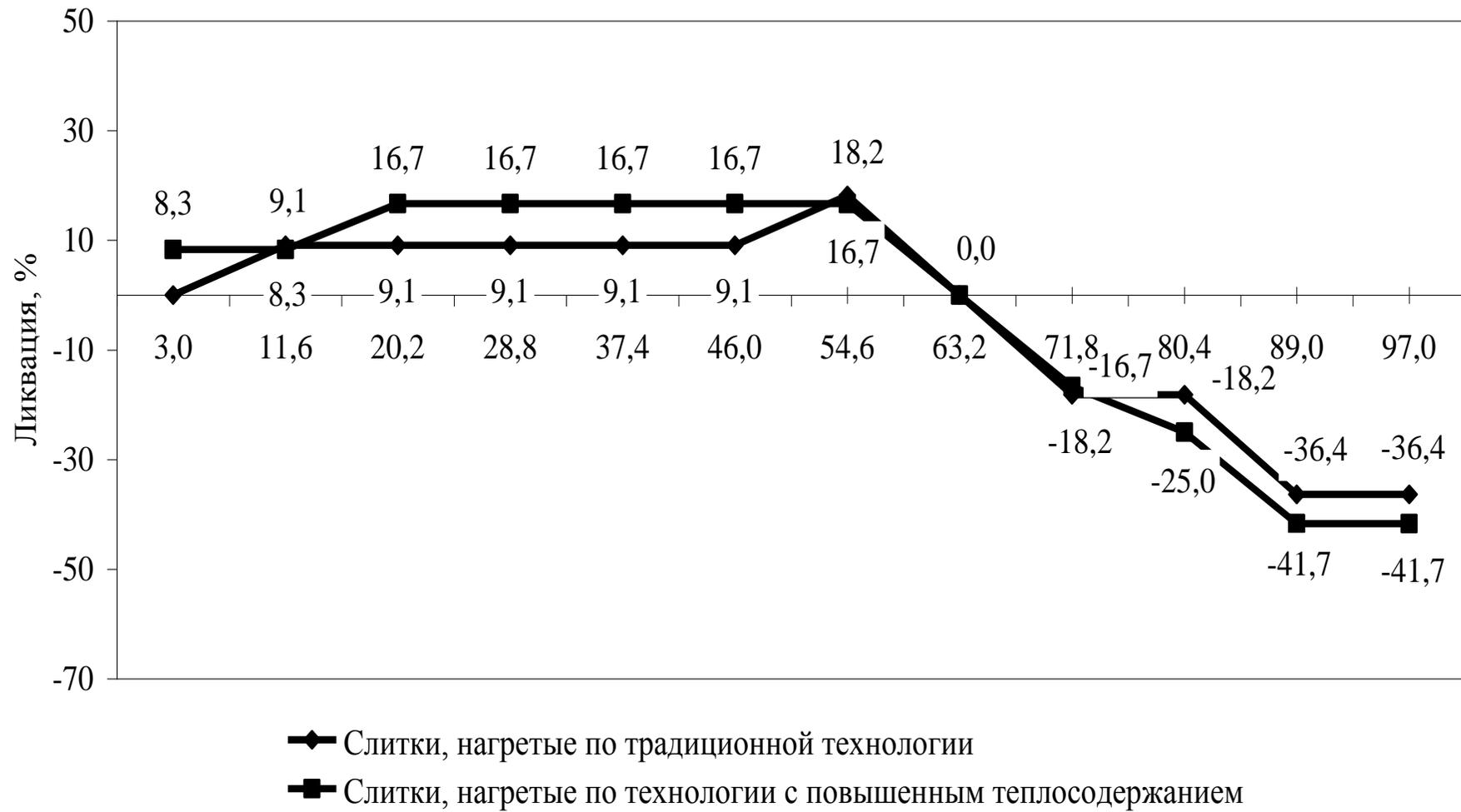


Рисунок 2 – Ликвация углерода по высоте слитков, нагретых по различным технологиям

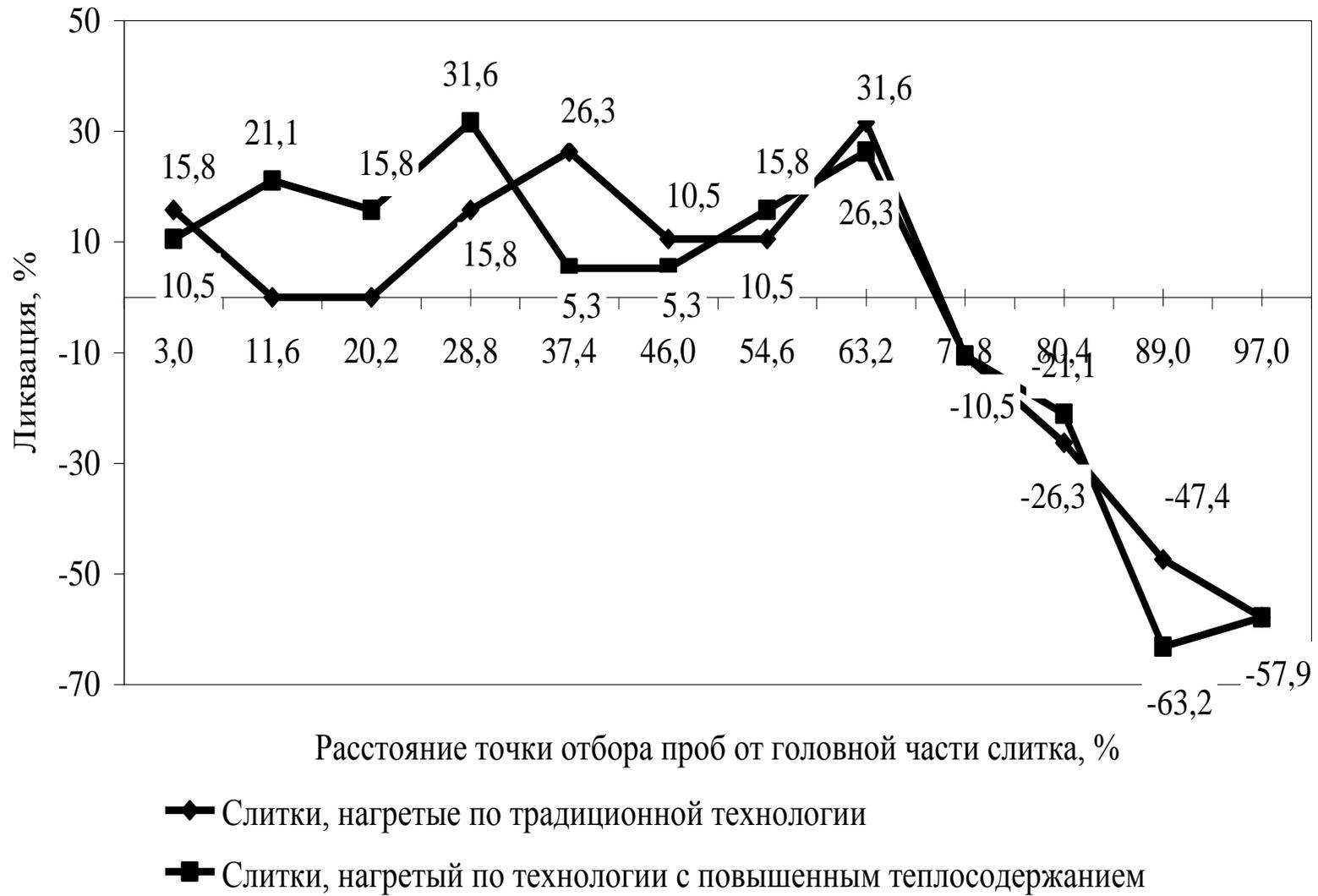


Рисунок 3 – Ликвация серы по высоте слитков, нагретых по различным технологиям

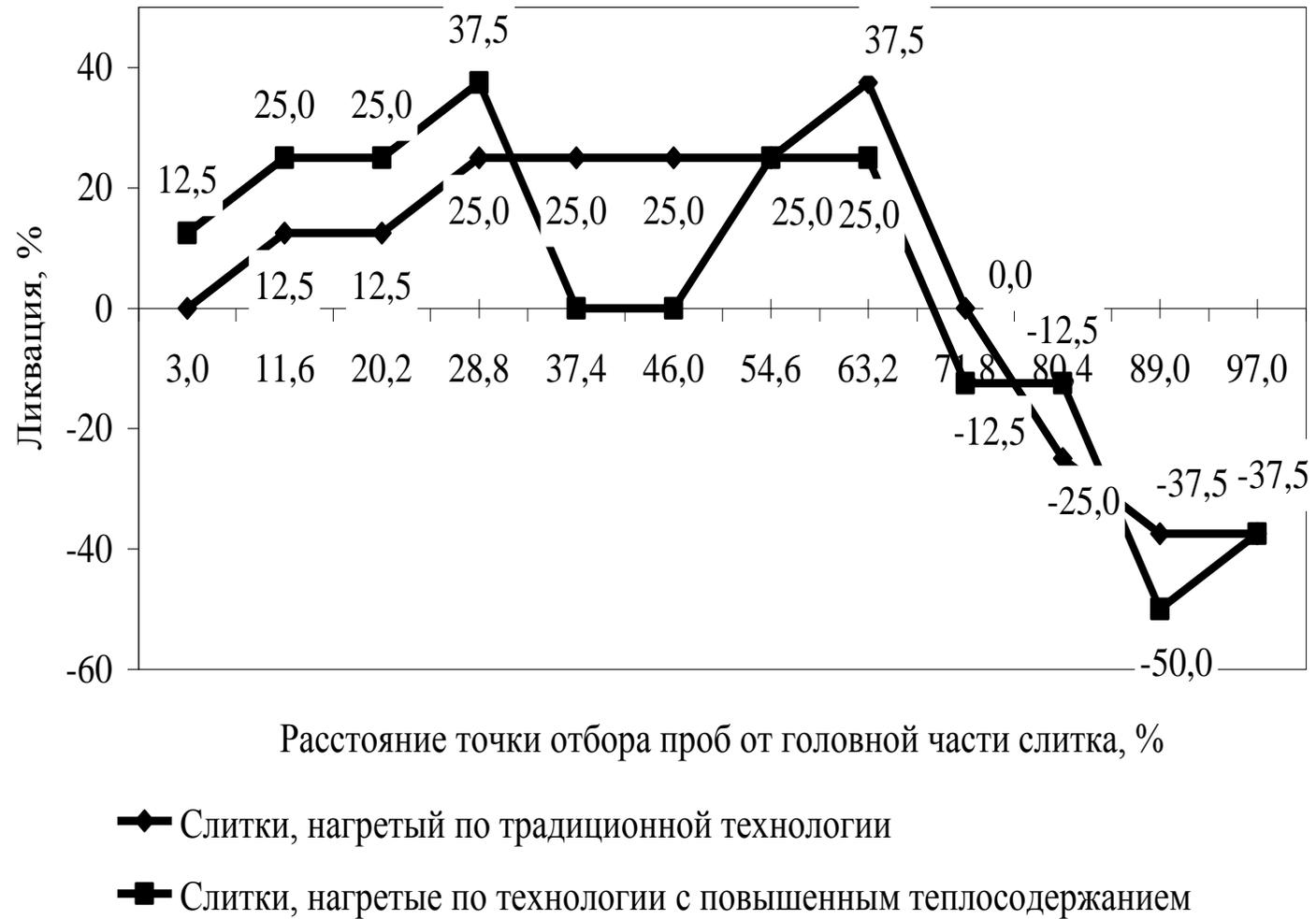


Рисунок 4 – Ликвация фосфора по высоте слитков, нагретых по различным технологиям

Таблица 1 – Результаты испытаний проката из опытных слитков марки 20кп

Характеристика	Среднее значение		Требования ГОСТ 10702-78
	традиционная технология на- грева слитков	технология нагрева слитков с повышенным теплосодержанием	
Твёрдость, НВ	150	145	Не более 163
Временное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>	430	450	390-490
Относительное сужение, %	60	65	Не менее 50

#### Выводы:

– с использованием теоретических разработок Днепропетровского металлургического института установлено, что изменение условий кристаллизации слитков кипящей стали в условиях ОАО «ЗСМК» может оказать влияние на изменение химической неоднородности только вблизи теплового центра слитка (58 % от донной части).

– в ОАО «ЗСМК» экспериментальным путем определен фактический характер и степень ликвации углерода, серы и фосфора по высоте слитков качественной кипящей стали при различных условиях их кристаллизации.

– установлено, что увеличение времени кристаллизации слитков, произошедшее в результате внедрения технологии нагрева слитков с повышенным теплосодержанием, не привело к повышению степени химической неоднородности и не ухудшило механические свойства проката.

#### Библиографический список

1. Воскобойников В.Г. Общая металлургия: учебник для вузов / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.
2. Власов Н.Н. Разливка черных металлов / Н.Н. Власов, В.В. Король, В.С. Радя – М.: Металлургия, 1987. – 272 с.
3. Явойский В.И. Металлургия стали / В.И. Явойский [и др.] – М.: Металлургия, 1973. – 816 с.
4. Кузнецов И.С. Разработка оптимальной технологии нагрева слитков из кипящих сталей / И.С. Кузнецов, А.Е. Прахов, В.А. Антонов, А.А. Уманский // Сталь. – 2006. – № 3. – С. 46 – 47.
5. Уманский А.А. Управление качеством заготовок при прокатке из слитков методами математического моделирования // Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук – Новокузнецк, 2007. – 24 с.
6. Разработать и внедрить технологию тепловой обработки слитков типа У-12, С-12, обеспечивающую требуемое качество проката, рост производительности нагревательных колодцев, снижение топливно-энергетических затрат: Отчёт по НИР. – Днепропетровск, 1988. – 128 с.

## **ПРОВЕДЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭТАП РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ В КУЗБАССЕ**

Прошунин Ю.Е., ШКОЛЛЕР М.Б.

*ОАО «Кузбасский Технопарк»,  
Новокузнецкий филиал Томского политехнического университета  
г. Новокузнецк*

В Концепции Стратегии развития Кемеровской области до 2025 года, одобренной на заседании Межведомственной комиссии по разработке стратегий социально-экономического развития регионов Российской Федерации при Министерстве регионального развития Российской Федерации, отмечено, что оптимальным для Кемеровской области является инновационно-технологическая модернизация базового сектора экономики области (угледобывающей, углеперерабатывающей и химической отраслей промышленности, черной и цветной металлургии, энергетике), а также увеличение производства товаров с высокой долей добавленной стоимости – «движение в сторону глубоких переделов». Сформулированные там же стратегические цели социально-экономического развития Кузбасса декларируют приоритет кластерной политики роста экономики региона и ее глубокую диверсификацию. Важнейшим инструментом реализации данных целей является создание и всемерное развитие Кузбасского Технопарка.

В связи с природными особенностями Кемеровской области основные направления деятельности Кузбасского Технопарка, в первую очередь, связаны с перспективными наукоемкими процессами глубокой переработки углей с последующим использованием продуктов этой переработки в энергетике, металлургии, химической промышленности, а также с современными информационными технологиями. Развитие указанных направлений требует значительных инвестиций и серьезной государственной поддержки.

Наиболее перспективным вариантом позиционирования Кузбассом серьезности намерения планомерного развития технологий глубокой переработки углей может явиться проведение Международной конференции с примерным названием «Энерготехнология твердого топлива».

Примерный перечень секций конференции:

- 1) Энерготехнологии при производстве тепло- и электроэнергии.
- 2) Энерготехнологии угля в металлургии.
- 3) Энерготехнологии угля в химической промышленности.
- 4) Утилизация отходов и особенности экологии энерготехнологических производств.
- 5) Информационные технологии в процессах переработки твердого топлива.

Конференцию следует проводить с привлечением авторитетных представителей Федерального центра. В качестве организатора мероприятия может выступить Кузбасский Технопарк. Это позволит ему существенно повысить свой авторитет, фактически возглавить разработку самых приоритетных направлений развития региона и стать одним из ведущих в Сибири. Представляется целесообразным привлечь для участия в конференции наиболее авторитетные коммерческие, научно-исследовательские и проектные организации России, стран ближнего и дальнего зарубежья, имеющие успешный опыт внедрения технологий переработки углей. Те организации, которые могут предложить готовые к внедрению или находящиеся в заключительной стадии разработки технологические процессы.

В первую очередь это корпорация «Сасол», перерабатывающая в ЮАР ежегодно более 40 млн. т низкосортных углей с получением большого ассортимента химических продуктов и моторного топлива на основе синтез-газа, полученного парокислородной газификацией угля. Китайское правительство, планирующее в ближайшие 5 – 10 лет инвестировать 15 млрд. \$ в строительство заводов по ожижению угля по аналогичной технологии. Эти заводы должны производить 16 млн. т жидких продуктов. В провинции Шеньси в ближайшие 5 лет будет затрачено 10,7 млрд. \$ большого углехимического комплекса с годовой производственной мощностью 2,54 млн. т поливинилхлорида, 4,5 млн. т карбинола, 10 млн. т карбамида.

Серьезного внимания заслуживает разработанная ООО «Атомтеплопроект» (Санкт-Петербург) технология с использованием твердого теплоносителя, по которой в Эстонии в течение нескольких лет перерабатываются миллионы тонн сланцев с получением широкого ассортимента химической продукции. Для условий Кузбасса эта технология может быть адаптирована для переработки в первую очередь бурых углей Итатского и Барандатского месторождений по энерготехнологической схеме с получением буроугольного полукокса и горючего газа для получения тепло- и (или) электроэнергии.

Учеными Юга Кузбасса разработана технология производства игольчатого кокса, использующегося для получения специальных сталей и сверхчистого алюминия, основным потребителем которых является оборонная промышленность, и не производимого в Российской Федерации даже в масштабе опытно-промышленных партий. Эту ситуацию нельзя назвать нормальной, так как за рубежом приобретается не только игольчатый кокс на сумму свыше 150 млн. долларов ежегодно, но и значительное количество изготавливаемых на его основе электродов для производства электросталей и другой продукции.

Главными условиями получения кокса, обладающего игольчатой структурой, являются целенаправленный выбор сырья и технологии его подготовки. Использован принципиально новый процесс получения сырья для производства игольчатого кокса стабилизацией пластического состояния коксующихся углей путем их мягкого термического растворения во фракциях каменноугольной смолы, обладающих *n*-донорными свойствами, в интер-

вале температур 290 – 320 °С, при давлении 0,2 – 0,3 МПа. В настоящее время проведены научно-исследовательские работы, выполнена предварительная проработка технологических схем процессов мягкого термического растворения угля с целью получения специального связующего и дальнейшего коксования его для получения термостойких изделий повышенной прочности (игольчатого кокса), подготовлено технико-экономическое обоснование эффективности реализации проекта и разработан соответствующий бизнес-план.

В Новокузнецке функционирует Кузнецкий Центр Восточного научно-исследовательского углехимического института с проектным отделом, имеющий возможность выполнить проект практически любого процесса переработки углей. Есть ряд других организаций различных стран, участие которых в предлагаемой Конференции было бы полезно и даже необходимо.

По нашему мнению, на основе анализа сформулированных в рамках проводимой Конференции предложений и должна быть сформирована Программа глубокой переработки углей в Кузбассе, включающая последовательность финансирования, разработки технологических заданий на проектирование, собственно проектирования, строительства, пуско-наладочных работ и возврата вложенных средств.

Реализация этой программы позволит развить и реализовать новые технологии переработки углей, создать современные производства по получению водорода, синтетических топлив и углеродных продуктов, обучить кадры инженеров и специалистов, использовать потенциал наиболее перспективных Ерунаковского и Менчерецкого каменноугольных месторождений, установить технологическую связь между угольными предприятиями, металлургическими комбинатами, химическими и машиностроительными предприятиями Кузбасса, то есть позволит реализовать кластерный принцип социально-экономического развития Кемеровской области.

В качестве места проведения такой конференции может быть рекомендован город Новокузнецк – крупный научный и промышленный центр Кузбасса. Участникам мероприятия могут быть показаны современные предприятия черной металлургии, оборудование для глубокой переработки углей, в том числе самая совершенная в России коксовая батарея № 1 ОАО «ЗСМК» и действующие энерготехнологические установки коксохимических производств, обогатительные фабрики, крупные потребители продуктов переработки угля – ферросплавный и алюминиевый заводы.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВДУВАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ГОРН ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

ШКОЛЛЕР М.Б., ПРОШУНИН Ю.Е.

*Новокузнецкий филиал Томского политехнического университета,  
ОАО «Кузбасский Технопарк»  
г. Новокузнецк*

Потребность мировой металлургии в коксе и в XXI столетии останется достаточно высокой (примерно 530 млн. т в 2010 году) в связи преобладанием коксодоменной технологии в производстве металла. В то же время, безусловно, сохранится тенденция сокращения удельного расхода кокса при получении чугуна за счет вдувания в горн доменных печей пылеугольного топлива (ПУТ).

Технология доменной плавки с применением ПУТ известна с 1831 г. и в настоящее время получила широкое распространение в большинстве развитых стран мира: Японии, США, Германии, Китае и Великобритании. Приготовление ПУТ сопровождается значительно меньшим загрязнением атмосферы и водного бассейна, используемое оборудование более компактно и требует примерно в 8 – 10 раз меньшей численности высококвалифицированных работников, чем производство кокса соответствующей мощности.

Результаты промышленных исследований показали, что угольная пыль может заместить в доменной печи 100 % природного газа и 20 – 40 % кокса, а стоимость строительства установки вдувания в 4 раза меньше, чем строительство коксовой батареи производительностью заменяемого ПУТ кокса. При этом производительность доменной печи возрастает, а также появляется возможность оперативного влияния на температурное состояние горна. Снижение удельного расхода кокса на выплавку чугуна – одно из важнейших направлений уменьшения затрат при производстве металла и улучшения качества окружающей среды на металлургических предприятиях.

В настоящее время более 120 мощных доменных печей в мире работают с вдуванием в горн ПУТ в количестве от 100 до 260 кг/т чугуна. С 1999 г. все 30 действующих доменных печей Японии использовали ПУТ как единственный заменитель кокса: на одной из мощных доменных печей проведены промышленные плавки с расходом ПУТ 289 кг/т и заменой 50 % кокса. Расчетным и опытным путем показано наличие значительных резервов технологии с применением ПУТ. Полагают возможным увеличить расход пылевидного угля при обеспечении отсутствия азота в горне и до 400 кг/т.

Несмотря на перспективность технологии доменной плавки с использованием ПУТ темпы ее внедрения в России, да и в странах СНГ до последнего времени были низки. Одной из причин этого является существовавший до последнего времени свойственный только этим странам перекокс цен на

уголь и природный газ в пользу последнего, а также относительно высокая стоимость оборудования для приготовления и вдувания ПУТ, в 7 – 10 раз превышающая стоимость оборудования для вдувания мазута. В настоящее время ситуация существенно изменилась. Общее повышение цен на природный газ до уровня мировых в этом регионе сделали экономически выгодным и даже необходимым реализацию технологии вдувания ПУТ в России и на Украине.

Однако, промышленное внедрение технологии возможно лишь при тщательной проработке перспективной сырьевой угольной базы, обусловленной достаточно жесткими требованиями к качеству исходного материала и обоснованном выборе технологии получения ПУТ. По оценке фирмы «Армко Стил» (США) на узел приготовления топлива (сооружение отделения или цеха приёма и помола угля, являющегося, к тому же, дополнительным источником вредных выбросов) приходится 60 – 70 % общих расходов.

Нами для конкретных условий ЕвразХолдинг задачу получения кондиционного топлива для ОАО «ЗСМК» и ОАО «НТМК» предложено решать с использованием в качестве основной сырьевой базы углей Кузнецкого угольного бассейна. Исходя из результатов исследований Института черной металлургии Высшей технической школы в Аахене, установивших значительное повышение эффективности использования ПУТ при добавке бурого угля, а также, учитывая низкую стоимость и высокоосновной характер золы бурых углей, проанализирован также вариант с использованием сырьевой базы Канско-Ачинского бассейна.

Сопоставление различных вариантов получения кондиционного топлива показало, что существует только два приемлемых технических решения. Первый вариант позволяет решить задачу с минимальными капитальными затратами на основе кооперации доменного цеха и коксохимического производства путем организации процесса приготовления сырья для ПУТ с использованием существующего оборудования углеподготовительного цеха и концентрата ЦОФ ОАО «ЗСМК».

Подготовлены подробные рекомендации по реконструкции углеподготовительного и углеобогадательного цехов КХП ОАО «ЗСМК», показаны принципиальная возможность и целесообразность предлагаемой реконструкции предлагаемой технологической схемы подготовки полупродукта для производства ПУТ, предварительно оценены затраты на реконструкцию. В качестве альтернативного варианта рассмотрена возможность сооружения открытого склада угля для разгрузки и переработки в сырье для ПУТ бурых углей и углей высокой стадии метаморфизма. Указана возможность переработки на открытом складе смеси энергетических каменных углей Кузбасса высокой и низкой стадии метаморфизма либо моношихты (уголь СС). Подробно рассмотрена технологическая схема открытого склада.

К достоинствам первого варианта организации производства ПУТ с использованием существующего оборудования углеподготовительного и углеобогадательного цехов ОАО «ЗСМК» могут быть отнесены:

- относительно невысокие капитальные вложения;
- максимально возможное задействование существующего оборудования;
- при возможном использовании в дальнейшем в качестве компонента полупродукта ПУТ буроугольного полукокса переход на новую технологию может быть осуществлен практически без дальнейшей реконструкции;
- надежность и отработанность предлагаемой технологической схемы;
- наличие на КХП ОАО «ЗСМК» обученного персонала.

С другой стороны длительная эксплуатация открытых складов выявила их существенные недостатки: значительные капитальные и эксплуатационные затраты; окисление углей и потери их при переработке; большой штат высококвалифицированного эксплуатационного персонала, неблагоприятную экологическую обстановку и др. В последнее время вводятся в эксплуатацию преимущественно угольные склады закрытого типа, совмещающие функции хранения, усреднения и дозирования углей. Склады закрытого типа компактны, уровень механизации на них высокий, потери угля небольшие, операции хранения и дозирования угля совмещены, уголь можно усреднять не только в самом бункере, но и одновременно выпуская каждый компонент из нескольких бункеров. Расчеты показывают, что при вместимости до 100 тыс. т закрытые склады экономичнее открытых, а при большей емкости – затраты на них больше.

В качестве базового варианта ПУТ для доменных печей была принята топливная смесь на основе смеси энергетических каменных углей Кузбасса (марки Д или Г) и концентрата ЦОФ ОАО «ЗСМК» в равном соотношении.

В качестве второго основного варианта представляется целесообразным предложить формирование сырьевой базы ПУТ на основе: 50 % бурого угля + 50 % кузнецкого угля марки Т. Добыча угля марки Т ведется на предприятиях «Евразхолдинга», холдинга «Кузбассразрезуголь» и ОАО «Южный Кузбасс» и составила в 2005 году более 16 млн. т с перспективой увеличения к 2020 году до 23,5 млн. т в год.

Выполнена предварительная оценка экономической эффективности от использования ПУТ. Внедрение варианта формирования сырьевой базы ПУТ на основе:

- энергетических каменных углей Кузбасса высокой или средней стадии метаморфизма и бурых углей Канско-Ачинского бассейна (р. Березовский) в равной пропорции позволит повысить производительность доменного производства на 6,5 %, снизить расход доменного кокса до 349 кг на одну тонну чугуна или на 19,0 % полностью исключив при этом подачу природного газа, снизить себестоимость чугуна на 5,9 %;

- энергетических каменных углей Кузбасса низкой стадии метаморфизма и концентрата ЦОФ «ЗСМК» в равной пропорции позволит повысить производительность доменного производства на 4,3 %, снизить расход доменного кокса до 344 кг на одну тонну чугуна или на 20,2 % полностью исключив при этом подачу природного газа, снизить себестоимость чугуна на

4,2 %.

Кроме вышеуказанного при использовании ПУТ может быть достигнут дополнительный эффект от снижения подачи кислорода в дутье. Учитывая, что на производство одной тонны чугуна в дутье подается 106 м<sup>3</sup> или 151 кг кислорода, а применение пылеугольного топлива из 50% бурого угля марки 2Б разреза Березовский и 50 % угля марки Т разреза «Краснобродский» вносит в горн доменной печи дополнительно 26 кг кислорода на 1 т чугуна, это позволяет подачу кислорода в дутье на 17 %. При использовании пылеугольного топлива из 50 % концентрата ЦОФ ОАО «ЗСМК» и 50 % угля марки Д разреза «Задубровский» в доменную печь на 1 тонну чугуна вносится 19,2 кг кислорода, что позволяет сократить его подачу в дутье на 12,7 % ( $19,2/151*100$ ).

Учитывая высокую основность золы бурых углей, вносящей 50,8 % СаО и 7,0 кг MgO, что составляет суммарно 2,89 кг при производстве одной тонны чугуна и то, что в настоящее время в доменную печь подается 5,4 кг флюсов на 1 т чугуна, можно существенно (более чем на 50 %) снизить их количество.

Выполненные нами расчеты показали, что наиболее перспективно применение топливной смеси с участием буроугольного полукокса (БПК), создающее благоприятные предпосылки для быстрой окупаемости затраченных средств. После рассмотрения представленной информации принято решение использовать на первом этапе технологическую схему коксохимпроизводства ОАО «ЗСМК» при получении сырья ПУТ для ОАО «ЗСМК» и ОАО «НКМК», а на втором применить в качестве части сырья для ПУТ БПК, организовав его производство на территории Кемеровской области.

Следует добавить, что технология вдувания ПУТ будет внедрена практически на всех металлургических предприятиях России и Украины и потенциальный источник сырья для топлива находится в Кузбассе и Красноярском крае. Поэтому очень важно выиграть борьбу за вновь образующийся рынок ПУТ, емкость которого в ближайшие годы составит около 15 млн. т угля.

УДК 622.332

## **О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ В КУЗБАССЕ**

Прошунин Ю.Е., ШКОЛЛЕР М.Б.

*ОАО «Кузбасский Технопарк»,  
Новокузнецкий филиал Томского политехнического университета  
г. Новокузнецк*

Наиболее актуальными при расширении использования угля в энергетике являются вопросы защиты окружающей среды, поэтому для примене-

ния твердого топлива необходимо разработать экологически чистые и эффективные технологии. Перспективным направлением реализации поставленной задачи является применение парогазовых установок (ПГУ), предназначенных для расширения и реконструкции отдельных существующих ТЭС и комплектации новых энергопредприятий. Именно такие агрегаты могут стать основой новой энергетики регионов, где уголь является определяющим, либо единственным видом топлива в структуре топливного баланса ТЭС.

Вопрос об использовании угля в парогазовом комбинированном цикле производства энергии рассматривался уже в 50-х годах прошлого столетия. Решение этой проблемы увязывалось с газификацией угля путем включения газогенераторных установок в состав ПГУ. Разработанные и реализованные проекты ПГУ с газификацией угля достаточно сложны, поэтому в мировой электроэнергетике получили ограниченное распространение. К настоящему времени в эксплуатации находятся более трех десятков ПГУ на твердом топливе мощностью от 40 до 700 МВт, в которых используется газогенераторная технология. При парокислородной газификации в газотурбинном цикле рабочим агентом является синтез-газ (смесь  $\text{CO} + \text{H}_2$ ). В этом варианте возможно сочетание энергопредприятий с предприятиями по производству синтетического моторного топлива и органического синтеза. По данным Всероссийского теплотехнического института кпд ПГУ с газификационной установкой при рациональном проектировании может быть достаточно высоким (40 – 45 % по исходному углю). Следует отметить, что подобный комплекс должен располагать производством кислорода.

Другим вариантом ПГУ на твердом топливом является сочетание энергоустановок с установками полукоксования. В данном случае не требуется производства кислорода и возможно исполнение, как виде комплекса газотурбинного цикла с использованием продуктов сжигания охлажденного газа полукоксования (цикл Брайтона), так и паротурбинного цикла с сжиганием полукокса (цикл Ренкина). В этом варианте необходимо организовать переработку химических продуктов полукоксования. Возможен и энергометаллургический вариант с газотурбинным циклом и производством полукокса для черной металлургии (топливо для вдувания в горн доменных печей, агломерации, компонент угольных шихт для коксования).

Реализация полукоксования может быть осуществлена на основе отечественных разработок: термоокислительной технологии «Сибтермо» (Красноярск), проходящей с участием ученых Юга Кузбасса опытно-промышленную проверку, технологий с применением твердого теплоносителя, разработанных ЭНИН (г. Москва) и ООО «Атомтеплоэлектропроект», ЭТХ и ТККУ, прошедших с нашим участием опытно-промышленную проверку, УТТТ-3000, находящейся в промышленной эксплуатации. Для энергоблоков малой и средней мощности может быть использован достаточно хорошо отработанный метод полукоксования на движущихся цепных колосниковых решетках.

По мнению специалистов УралОРГРЭС использование в энергоблоках установок полукоксования по сравнению с ПГУ с установкой газификации позволяет существенно сократить объем инвестиций на реализацию проекта и получить компактный экономичный и экологически чистый агрегат, который может быть установлен на существующих ТЭС с использованием имеющегося котельного и турбинного оборудования.

Известно, что наиболее экологически чистыми и эффективными топливами являются бурые угли и полукокс, полученный при их переработке. Угли, добываемые на Березовском разрезе Красноярского края, являются наиболее низкосольными и низкосернистыми (содержание серы и золы в пересчете на сухую массу составляет 0,3 % и 4 – 6 % соответственно). По имеющейся информации эти угли должны использоваться, в основном, для предполагаемой к строительству ТЭЦ г. Березовский. Однако, часть добываемого угля завозится даже в Европейскую часть России. Так, например, на Рязанской ТЭС ежедневно сжигается 5000 т бурого угля Березовского разреза (Красноярский край).

Следует отметить, что на территории Кемеровской области расположены два крупнейших месторождения бурых углей Итатское и Барандатское, относящиеся к Канско-Ачинскому бассейну. В то же время более миллиона тонн бурого угля завозится на север Кемеровской области из Красноярского края. Кроме этого, через Кузбасс Новосибирская область завозит более полутора миллиона тонн в год. Поэтому администрацией Кемеровской области было принято решение о строительстве мощного буроугольного разреза Итатский, где мощность угольных пластов достигает 100 м. Однако производительность его в настоящее время составляет около 300000 т в год и полученная продукция используется вблизи места добычи. Да и декларируемое производителем качество этой продукции не позволяет пока планировать ее использование в технологических процессах с высокой добавленной стоимостью. Этим качеством нужно всерьез заниматься.

По имеющимся данным требуемые инвестиции в развитие добычи в Канско-Ачинском бассейне в 1,5 раза ниже, чем при строительстве разрезов на Ерунаковском месторождении и в 3,5 раза ниже, чем при строительстве шахт. При сооружении энергоблоков с ПГУ на буром угле также могут быть использованы вышеупомянутые технологии полукоксования. Хотя в плане социально-экономического развития Кемеровской области нет упоминания об использовании в энергетике региона бурых углей, нам представляется оправданным уделить этой проблеме внимание, поскольку она связана с улучшением экологии в Кузбассе, увеличением экспортных ресурсов каменного угля, достижением намеченного высокого уровня добычи топлива в бассейне.

Это предложение приобретает особую актуальность в связи с уже начавшимся активным переходом российских и украинских металлургических предприятий на производство чугуна с использованием пылеугольного топлива (ПУТ), что позволяет полностью отказаться от природного газа и суще-

ственно улучшить технико-экономические показатели процесса. Учитывая, что сырье для производства ПУТ можно найти только в Кузбассе, уже в ближайшие 2 – 3 года следует ожидать увеличение спроса на него на 10 – 12 млн. т по самым скромным оценкам. Исследованиями ученых Юга Кузбасса, разрабатывающих сырьевую базу производства ПУТ для металлургических предприятий, показано, что наиболее перспективным его компонентом является буроугольный полукокс (БПК), применение которого позволяет резко повысить эффективность доменной плавки. В настоящее время на нас активно выходят российские и украинские металлурги с просьбой оказать содействие в разработке технологии использования ПУТ с участием БПК и помочь с организацией его производства.

Наиболее перспективным является процесс получения БПК в промышленном масштабе путем сочетания энергоустановок с установками полукоксования, что позволяет производить не только БПК, но и тепло- и (или) электроэнергию. Эта технология прошла промышленную проверку и может быть реализована как на вновь сооружаемых энергоблоках, так и на действующих агрегатах путем встраивания в них установок полукоксования.

Достоинства предложения:

– *получение высококачественного продукта, сбыт которого в течение ближайших 4 – 5 лет составит как минимум 5 – 7 млн. т* только в качестве компонента пылеугольного топлива (не менее перспективным является использование его в качестве компонента шихты для коксования, экологически чистого энергетического топлива);

– *отрицательная себестоимость БПК* вследствие низкой стоимости сырья и большого количества выделяющихся попутно тепло- и (или) электроэнергии;

– *снижение удельного расхода топлива* на выработку тепло- и (или) электроэнергии на 10 – 15 %;

– *уменьшение выбросов вредных веществ* на выработку тепло- и (или) электроэнергии на 20 – 30 %;

– *задействование расположенных на территории Кемеровской области двух крупнейших месторождений бурых углей* (Итатского и Барандатского), относящихся к Канско-Ачинскому бассейну. Это позволит создать новые рабочие места, увеличить экспортные ресурсы каменного угля, прекратить завоз бурого угля на север Кемеровской области из Красноярского края и предложить смежным областям дешевого топлива, будет способствовать достижению намеченного высокого уровня добычи топлива в регионе.

## **ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЛОЕВЫХ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ КОТЛОВ «ТЕПЛОТРОН»**

Черновол В.В., Прошунин Ю.Е., Почечуев А.А.

*ООО «Научно-производственный комплекс «Инженерная компания»,  
ОАО «Кузбасский Технопарк»,  
ООО «Новокузнецкий котельный завод»  
г. Новокузнецк*

Для сибирских регионов важной проблемой сохранения жизнедеятельности небольших, удаленных поселений является обеспечение их теплом и горячей водой. Аналогичная проблема стоит и перед производственными предприятиями, доля тепла в себестоимости продукции которых может достигать до 10 %. При централизованном снабжении теплом потери в теплотрассах, часто сильно изношенных, составляют свыше 30 %. Ежегодные ремонты и обслуживание увеличивают стоимость единицы тепла в несколько раз по сравнению с прямыми затратами на его производство. В большинстве случаев установка автономного теплоснабжения является оптимальным решением проблемы снижения затрат на отопление и горячее водоснабжение.

Из эксплуатируемых в настоящее время типов отопительных систем (электрических, газовых, жидко- и твердотопливных), учитывая специфику местных условий с доступностью угольного сырья, дешевизну приобретения и эксплуатации, простоту монтажа, возможность работы при отсутствии электроэнергии и без регистрации в котлонадзоре, наиболее эффективным представляется использование твердотопливных котлов.

Результаты изучения физико-механических характеристик рядовых углей и их отсеков использованы для разработки базовых конструктивных параметров автономных отопительных систем на базе твердотопливных котлов «Теплотрон» и позволили сформулировать требования к качеству используемого угля (тощий, слабоспекающийся, газовый или длиннопламенный рядовой уголь влажностью 7 – 8 %, зольностью до 40 %, крупностью не более 150 мм с содержанием класса менее 1 мм до 25 %). Впрочем, шестилетний опыт эксплуатации показал, что агрегаты достаточно неприхотливы к качеству используемого топлива: могут работать на отсевах угля, коксе, дровах и опилках (в последних двух случаях в смеси с углем) и не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала. Предложенный метод верхней подачи топлива и обеспечение последующего самодозирования его в зону горения позволяют производить загрузку по мере необходимости один – три раза в сутки в зависимости от качества горючего компонента и погодных условий.

При разработке отопительных агрегатов изучены физико-химические и физико-механические свойства углей различной степени метаморфизма: СС, СШ (разрез Кедровский) и Г, СШ (разрез Талдинский). Результаты исследований приведены в таблицах 1 и 2. Анализ полученных результатов показывает, что ФМХ указанных углей различаются не очень существенно, что объясняется близкими значениями гранулометрического состава (семечко – штыб) и относительно небольшой величиной уплотняющего давления (до 20 кПа).

Таблица 1 – Технический анализ и гранулометрический состав угольных отсевов

Наименование	Предприятие	Технический анализ, %			Гранулометрический состав, %				
		W <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	Размер частиц, мм				
					>10	5-10	3-5	1-3	0-1
СС, СШ	Р-з Кедровский	1,5	14,0	23,0	17,6	14,7	20,3	26,3	21,1
Г, СШ	Р-з Талдинский	1,4	23,0	37,0	12,3	22,2	17,3	29,4	18,8

Таблица 2 – Физико-механические свойства угольных отсевов

Наименование	Влага рабочая, %	Уплотняющая нагрузка, кПа	Начальное сопротивление сдвигу, КПа	Коэффициент внутреннего трения	Объемная плотность, Кг/м <sup>3</sup>
СС, СШ	7	0	0,27	0,81	825,2
	7	2	0,52	0,79	836,9
	7	5	0,90	0,77	857,0
	7	10	1,55	0,73	877,4
	7	20	2,98	0,65	914,1
Г, СШ	7,5	0	0,33	0,80	836,1
	7,5	2	0,57	0,78	848,0
	7,5	5	0,95	0,76	864,6
	7,5	10	1,61	0,72	889,3
	7,5	20	3,03	0,64	927,0

Отопительный твердотопливный котёл «Теплотрон», изготавливаемый в соответствии с ТУ 4931-008-827490-07, предназначен для отопления и горячего водоснабжения жилья, объектов социально-бытового и культурного назначения, а также производственных помещений. Агрегат состоит из двух основных частей: зольника и загрузочного устройства с теплообменником. Он имеет следующие технические параметры: величина разовой загрузки топлива около 160 кг, давление слоя угля на уровне конуса 4600 Па, высота 1700 мм, диаметр 900 мм, вес 600 кг, мощность 100 кВт. Уголь загружается в центральную цилиндрическую емкость с водоохлаждаемыми стенками и ос-

тается неподвижным вследствие подпора слоя угля, расположенного на конусе и колосниковой решетке. Перемещение угля самотеком под действием силы тяжести происходит в результате горения топлива между двух водоохлаждаемых цилиндров и просыпания золы через подвижные чугунные колосниковые решетки.

Все части котла сварены из листовой стали толщиной 5 мм. Теплообменник котла проходит гидравлические испытания давлением не ниже 6 атмосфер. Колосниковые чугунные решётки и усиленные водоохлаждаемые рубашки теплообменника обеспечивают котлу механическую прочность и защиту от прогорания. Подвижность колосниковых решёток обеспечивает лёгкость и простоту чистки котла от золы и породы без его остановки. Такая конструкция отопительного котла обеспечивает равномерную подачу топлива в зону горения, саморегулирование толщины слоя горящего угля, стабильность процесса горения, экономичность агрегата и лёгкость его обслуживания.

Котел «Теплотрон» имеет КПД около 80 %, средний сезонный расход топлива (при калорийности 7000 ккал/кг) для жилых помещений составляет 70 г на 1 м<sup>3</sup> помещения в сутки, температура получаемой горячей воды – 95 °С. Для поддержания наиболее экономичного режима работы системы температура отходящих газов должна быть в пределах 160 – 180 °С.

Агрегат используется для водяного отопления помещений, как с принудительной, так и с естественной циркуляцией теплоносителя. Дополнительно может быть организован отбор горячей воды для хозяйственных и бытовых нужд. Отработана технология создания энергетических модулей путем объединения нескольких котлов в единую отопительную систему, благодаря чему объём отапливаемых помещений пропорционально возрастает и появляется возможность оперативного монтажа и подключения отопительной системы. Последнее обстоятельство может быть особенно ценным при отоплении зданий и сооружений в районах, пострадавших от стихийного бедствия.

При небольших габаритах агрегат легко перевозится на любом грузовом автомобиле или прицепе, а разборные узлы конструкции и их прочность позволяют значительно облегчить процесс погрузочно-разгрузочных работ (максимальный вес одной части – 320 кг). Сборка элементов котла с врезкой в систему отопления осуществляется двумя монтажниками в течение четырех часов, а монтаж готового энергетического модуля – в течение двух часов.

Агрегат прост в обслуживании и эксплуатации, надёжен и имеет большой запас прочности. Имевшие место случаи кратковременной эксплуатации котла без теплоносителя (воды) по вине обслуживающего персонала, не приводили к его прогоранию. После осмотра и, при необходимости, мелкого ремонта на месте агрегаты продолжали работу в рабочем режиме. При установке котла монтажниками изготовителя предоставляется гарантия до трех лет. Практика эксплуатации отопительных систем доказала его весьма

значительный запас долговечности. Так, при осмотре агрегатов, отработавших шесть отопительных сезонов, изготовителем не было обнаружено существенного износа основных его частей. Расчеты показали, что при соблюдении правил эксплуатации срок работы твердотопливных котлов «Теплотрон» должен составлять не менее 15 лет.

Использование агрегатов сокращает затраты на строительномонтажные работы по созданию и реконструкции систем отопления в два-четыре раза по сравнению с вариантом центрального отопления, срок окупаемости составляет, как правило, около одного года.

В настоящее время выпускаются агрегаты мощностью: 50, 100 и 175 кВт, которые могут быть как смонтированы индивидуально, так и объединены в модули до 2 мВт. Вся выпускаемая продукция имеет сертификат соответствия.

Таблица 3 – Основные параметры котлов «Теплотрон»

Мощность, кВт	50	100	175
Объём отапливаемого помещения, м <sup>3</sup>	1250	2500	4500
Вес, кг	500	600	800
Габариты, мм	810×810×1650	910×910×1650	1100×1100×1950
Диаметр патрубков (подача – обратка), мм	40	50	65
Диаметр газохода котла, мм	150	200	250
Объём воды в котле, м <sup>3</sup>	0,12	0,16	0,22
Расход в сутки по углю (средний), кг	50 – 100	100 – 300	170 – 500

Автономные отопительные системы на базе котлов «Теплотрон» прошли всесторонние испытания и успешно эксплуатируются (более 300 агрегатов) в Кемеровской, Новосибирской, Омской областях, Красноярском и Алтайском Краях, Бурятии и Казахстане.

## СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 669.186

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА МАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ ИЗ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

Нохрина О.И., Рожихина И.Д.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Производство ферросплавов определяется, в основном, объемом выплавленной стали. В то же время производство подавляющего большинства марок стали не может обойтись без марганцевых ферросплавов. Содержание марганца в сталях обычно составляет от 0,5 до 2,0 %, но в некоторых случаях может достигать и 13 %.

Потребление марганцевых сплавов в России постоянно растет и на сегодня составляет около 650 тыс. т. В настоящее время более 2/3 потребности в марганцевых ферросплавах покрывается за счет импортных поставок марганца.

В России имеются значительные запасы марганцевых руд (более 154 млн. т), но марганцевые руды подавляющего большинства отечественных месторождений отличаются невысоким качеством: при низком содержании марганца (18 – 24 %) и высоком удельном содержании фосфора (отношение  $P/Mn > 0,006$ ) они имеют повышенное содержание железа и кремния и относятся к труднообогатимым. При этом около 90 % балансовых запасов приходится на карбонатное сырье.

На территории Кемеровской области расположено самое крупное месторождение марганцевых руд – Усинское, представленное в основном карбонатными высокофосфористыми рудами (98,5 млн.т), Дурновское месторождение (около 300 тыс.т) – оксидные руды, большая часть из которых железомарганцевые, а также малоизученное Селезеньское месторождение, представленное как богатыми валунчатыми рудами (около 40 % Mn), так и обломками железомарганцевых руд (около 10 % Mn), а также сажистыми рудами (около 20 % Mn). Прогнозные запасы 5 млн.т.

Вовлечение в производство марганцевых руд этих месторождений возможно лишь при условии комплексного подхода к решению проблемы марганца когда технически и экономически обоснованы все звенья одной цепочки – разведка месторождений, добыча и обогащение марганцевых руд, последующая их переработка и потребление.

Комплекс работ, проведенных на кафедре электрометаллургии, стандартизации и сертификации Сибирского государственного индустриального

университета по оценке металлургической ценности и использованию руд различных месторождений, находящихся на территории Кемеровской области, показал возможность выплавки как стандартных марганцевых сплавов с использованием традиционных технологий, так и нестандартных марганцевых сплавов в различных агрегатах

Для богатых марганцевых руд ручной разборки месторождения Селезень (46,85 % Mn), были отработаны технологические параметры выплавки стандартного силикомарганца MnC17 в соответствии с ГОСТ 4756-91 углеродотермическим процессом в рудовосстановительных печах. В результате кампании были получены сплавы с содержанием 65 – 66,3 % Mn, 17,05 – 18 % Si, 0,20 – 0,22 % P, 2,0 – 2,1 % C. Кратность шлака составила 0,80 – 0,85, извлечение марганца 80,0 – 82,0 %. Результаты исследований марганцевых руд месторождения Селезень легли в основу инвестиционного проекта его освоения.

Из-за дефицита отечественных, дороговизны импортных марганцевых ферросплавов и наличия достаточно богатых и легкообогатимых руд Дурновского месторождения неоднократно различными исследователями были предприняты попытки выплавки марганцевых сплавов силикотермическим процессом, в дуговых сталеплавильных печах небольшой вместимости. Однако извлечение марганца из сырья в сплав не превышало 63 %.

Результаты исследования показали, что наиболее эффективным процессом выплавки силикомарганца в дуговых электропечах является углеродосиликотермический процесс. Использование углерода в качестве восстановителя в начальный период плавки позволило повысить извлечение Mn и снизить расход ферросилиция.

Разработанная технология внедрена в литейном цехе машиностроительного завода им. Черных в г. Киселевске Кемеровской области с использованием руд Дурновского месторождения выплавлен стандартный сплав в соответствии с ГОСТ 4756-91 FeMnSi 18.

Извлечение марганца из руды в сплав колеблется в пределах 78 – 80 %, кратность шлака составляла 2,3 – 2,5. Длительность плавки 100 – 120 мин. Расход электроэнергии на 1 т сплава – 2470 кВт·ч. Экономическая оценка показала, что себестоимость сплава составляет примерно 14400 руб. (цены 1997 г.), что подтверждено актом промышленного внедрения результатов НИР.

Среди марганцевых руд месторождений Западной Сибири значительную долю составляют железомарганцевые руды.

Традиционный способ обогащения магнитной сепарацией не позволяет эффективно отделить железосодержащую составляющую.

Изучение принципиальной возможности обогащения железомарганцевых руд путем восстановления из них оксидов железа на примере руды Дурновского месторождения показало, что при твердофазном обогащении марганцевых руд можно понизить содержание железа примерно на 80 – 82 % и получить руды, пригодные для выплавки силикомарганца. Выплавленный

углеродотермическим способом сплав соответствовал ГОСТ 4756-91 и содержал около 70 % Mn, 17 % Si. Извлечение марганца примерно 75 %, кремния около 60 %.

Из результатов исследований по использованию карбонатных высокофосфористых марганцевых руд Усинского месторождения, следует, что традиционной технологией углеродотермического восстановления из них можно получать только высокофосфористые сплавы, в том числе углеродистый ферромарганец с содержанием фосфора до 0,50 – 0,77 %, а ферросиликомарганец с содержанием фосфора 0,5 – 0,6 %, причем при хранении часть сплавов рассыпается. Такие сплавы не находят применения в сталеплавильном производстве.

Понижение концентрации фосфора в марганцевых ферросплавах может быть достигнуто в результате:

- улучшения использования марганца шихты при плавке ферромарганца и силикомарганца.

- переработки концентратов, получаемых механическим способом обогащения на качественные малофосфористые концентраты.

- разработки новых способов плавки из фосфористых руд, включающих дефосфорацию продуктов плавки (ферромарганца, силикомарганца).

Необходимо отметить, что первый путь для марганцевых руд эффективен лишь в сочетании со значительным повышением качества концентратов.

Это означает, что наиболее важным решением проблемы является получение высококачественных концентратов и дефосфорация сплавов.

Разработанная технологическая схема твердофазной дефосфорации марганцевых сплавов позволяет снизить содержание фосфора на 50 – 60 % в углеродистом ферромарганце и на 50 % в силикомарганце.

Технология твердофазной дефосфорации представляет интерес не только в плане получения малофосфористых марганцевых сплавов, но и в утилизации мелочи, получающейся при разливке, при дроблении и фракционировании сплавов.

Вторым способом снижения содержания фосфора в марганцевых ферросплавах является направление создания на базе руд с повышенным содержанием фосфора технологии получения низкофосфористого концентрата, пригодного для высокорентабельного производства марганцевых ферросплавов.

Высококачественные марганцевые концентраты по разработанной технологии кальций-хлоридного обогащения можно получать из бедных оксидных и карбонатных, в том числе высокофосфористых руд, железомарганцевых руд и конкреций, отходов производства (шламов, шлака и пыли). Извлечение марганца из марганецсодержащего сырья в концентрат составляет не менее 90 %. Полученный концентрат содержит 58 – 64 % марганца, менее 0,01 % фосфора, 0,02 – 0,05 % оксида железа, 0,5 – 1,0 % кремнезема и следы фосфора и серы. Предварительная экономическая оценка показала что затра-

ты на производство высококачественного низкофосфористого концентрата составляют около 3,5 тыс. руб.

Предложена технологическая схема переработки бедного марганецсодержащего материала. Она включает стадии получения высококачественного низкофосфористого концентрата, его подготовку, синтез марокита  $\text{CaMn}_2\text{O}_4$  и монофазного материала  $\text{CaMnO}_3$ .

Из высококачественного марганцевого концентрата можно выплавлять металлотермическим процессом металлический марганец, а также использовать этот концентрат в смеси с сырой рудой для выплавки стандартных марганцевых сплавов с низким содержанием фосфора.

Целесообразным является использование высококачественного концентрата для прямого легирования стали марганцем в ковше или сталеплавильном агрегате, при этом достигается стабильно высокое извлечение марганца (на уровне 92 – 96 %) при сквозном его извлечении 85 – 88 %, что в 1,5 – 2 раза выше этого показателя при использовании технологии раскисления стали стандартными марганцевыми сплавами. Качество стали, выплавленной с применением этой технологии, отвечает всем требованиям ГОСТа.

Использование марганцевых руд с содержанием марганца 30 – 45 % позволяет выплавлять сталь с содержанием марганца до 2 % без использования стандартных марганцевых ферросплавов.

Таким образом, научно обоснована и разработана технологическая схема комплексной переработки марганцевых руд месторождений Западной Сибири для получения высококачественных марганецсодержащих материалов.

На основании выполненных исследований разработаны технологические процессы, обеспечивающие существенное повышение сквозного коэффициента извлечения марганца путем создания рациональной комбинации технологических решений для максимально эффективного использования физико-химических свойств руд месторождений Западной Сибири.

УДК 669.046 : 558.28

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКАРБИДА КРЕМНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ КЕРАМИКИ**

Руднева В.В., Галевский Г.В., Ноздрин И.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк  
НПФ "Полимет",  
г. Белово*

Специфика термомеханических, электрофизических, физико-химических свойств карбида кремния предопределяет следующие направления его традиционного и перспективного применения:

– материалы на связках, представляющие собой гетерогенные композиции, в которых зерна карбида кремния цементированы связками, отличающимися по своему составу и физико-химическим свойствам от основной фазы;

- керамика (конструкционная и функциональная);
- композиционные материалы и покрытия;
- поверхностное модифицирование материалов;
- модифицирование сплавов;
- модифицирование полимеров;
- красочные составы специального назначения.

При этом к размерочувствительным областям могут быть отнесены производство конструкционной керамики, электроосаждение композиционных покрытий, поверхностное и объемное модифицирование металлических и полимерных материалов, создание новых красочных составов специального назначения.

Для получения керамики твердофазным спеканием используются порошки карбида кремния, соответствующие следующим требованиям:

– фазовый состав: преимущественно  $\beta$ -SiC, являющийся более легко-спекающимся материалом;

– уровень дисперсности для спекания при нормальном давлении: не ниже  $15000 \text{ м}^2/\text{кг}$  и размер частиц менее  $1 \text{ мкм}$ , обеспечивающие при спекании достижение относительной плотности  $96 - 98 \%$ ;

– состояние поверхности частиц, характеризующееся минимальной окисленностью, достигаемое при содержании кислорода менее  $2,44 \cdot 10^{-7} \text{ кг/м}^2$  поверхности порошка;

– ограниченное содержание примесей, препятствующих образованию плотной структуры, % масс., не более: железа и свободного кремния  $0,01 - 0,04$ , кремнезема от  $0,7 - 1,0$  при удельной поверхности  $15000 \text{ м}^2/\text{кг}$  до  $5 - 6$  при удельной поверхности  $45000 - 48000 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;

– присутствие активирующих процесс спекания добавок: бора в количестве обычно не более  $3 \%$  масс. и углерода в количестве  $0,8 - 3,6 \%$  масс. в зависимости от содержания кремнезема.

В России в течение последних  $15 - 20$  лет отмечается активизация технологических исследований, ориентированных на получение карбида кремния с требуемым комплексом свойств механохимическим синтезом, синтезом из высокодисперсных природных и искусственных шихт, самораспространяющимся высокотемпературным синтезом, плазмометаллургическим синтезом.

В данной работе для технологии конструкционной керамики предлагаются нанокарбид кремния, полученный карбидизацией микропорошка кремния метаном (SiC (1)) и модифицированием микропорошка карбида в плазменном потоке азота (SiC (2)) с последующим химическим обогащением, и нитридокарбидная наноконпозиция  $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC} - \text{Y}_2\text{O}_3$ , полученная плазменным модифицированием микропорошковой смеси требуемого состава.

ва и подвергнутая химическому обогащению, введенные в обращение в соответствии с нормативно-технической документацией [1 – 4].

Нанокарбид кремния по основным характеристикам (уровню дисперсности, фазовому и химическому составам) не уступает карбидокремниевым порошкам конструкционного назначения зарубежных фирм (таблица 1). Технологическим преимуществом вводимого в обращение материала является возможность поставки его в виде композиции заданного состава, содержащей активизирующие процесс спекания добавки (реакционноспособные бор и углерод). При опробовании и применении нанокарбида кремния, проведенных совместно с НПФ «Полимет», в процессах твердофазного спекания заготовок и изделий простой конфигурации с целью импортозамещения безразмольного порошка карбида кремния печного синтеза фирмы Н. Starck Co. марок А-10 и В-10, подтверждены его технологические преимущества и получены следующие результаты (таблица 1). Плотность и пористость образцов оценивали методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 18098-83. Испытания на механическую прочность при изгибе проводили на образцах размером 5×5×40 мм при температуре 20 °С на испытательной машине 1246Р–2/2300–1. Использование нанокарбида кремния позволяет исключить при подготовке шихты введение в неё органических соединений и их карбонизацию для получения равномерно распределенного реакционноспособного углерода и восстановления пленки кремнезема на карбидных наночастицах, перемешивание на валках, что упрощает и удешевляет технологию и позволяет реализовать её по следующему промышленно приемлемому варианту: термообработка порошка в вакууме при 1073 К, введение пластификатора, смешивание и прессование при давлении 50 МПа, обжиг в течение 2-х часов в аргоне при давлении 0,1 МПа при температуре 2273 К. Соблюдение технологии обеспечивает относительную плотность после формования 0,62 – 0,63, после спекания 0,95 – 0,96 и стабильную усадку 29 %, что при изготовлении изделий простой геометрической формы позволяет отказаться от механической обработки. При введении в обращение нанокарбида кремния экономическая эффективность импортозамещения карбида кремния фирмы Н. Starck Co. составляет 3,0 тыс. руб. на 1 кг.

С целью импортозамещения безразмольных порошков карбида кремния с удельной поверхностью 15000 м<sup>2</sup>/кг и нитрида кремния с удельной поверхностью 21000 м<sup>2</sup>/кг, получаемых печным синтезом и поставляемых фирмой Н. Starck Co., упрощения и удешевления подготовки высококачественной шихты с равномерным распределением добавок к компактированию, предлагается нитридокарбидная наноконпозиция следующего химического состава, % масс.: Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 45,90 – 49,00; SiC 38,90 – 40,00; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5,40 – 5,90; свободный углерод 1,20 – 1,50. Наноконпозиция имеет удельную поверхность 36000 – 38000 м<sup>2</sup>/кг. Нитридокарбидная наноконпозиция может быть рекомендована к использованию в технологическом процессе горячего изостатического прессования керамических изделий защиты биологических объектов из композиционного материала ВНП-8 (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> – 40SiC – 6Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3AlN), разра-

Таблица 1 – Химический и фазовый составы, режимы ТФС  
и физико-механические свойства карбидокремниевых  
керамических материалов

Характеристики порошков карбида кремния, условия подготовки и режимы ТФС	Торговая марка, изготовитель			
	ТУ 40- АЖПТ- 002-2006 ЦПТ СибГИУ SiC (1)	ТУ 40- АЖПТ- 003-2006 ЦПТ СибГИУ SiC (2)	А-10 Н. Starck.Co.	В-10 Н. Starck.Co.
Фазовый состав	$\beta$ -SiC	$\beta$ -SiC	$\alpha$ -SiC	$\beta$ -SiC
Химический состав, % масс.				
SiC	90,16	90,00	97,0	95,0
C <sub>своб.</sub>	2,70	2,69	1,0	1,9
B <sub>своб.</sub>	2,52	2,63	–	–
SiO <sub>2</sub>	4,51	4,60	1,88	3,02
Si <sub>своб.</sub>	0,04	0,03	0,1	0,04
Al	0,04	0,04	0,01	0,02
Fe	0,03	0,02	0,01	0,02
Соотношение SiO <sub>2</sub> :C в шихте, моль/моль (стехиометриче- ское «на карбид» 1:3)	1:3,01	1:2,98	1:2,69	1:3,17
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	38000	37000	11000	15000
Средний размер частиц, нм	67	66	700	600
Термообработка шихты T = 1073 К, P = 100 Па, $\tau$ = 1 ч	+	+	+	+
Пластифицирование шихты 5 %-ным раствором ПВС	+	+	+	+
Холодное прессование заго- товок в стальной разборной пресс-форме P = 50 МПа	+	+	+	+
Относительная плотность до спекания	0,63	0,62	0,64	0,61
Твердофазное спекание в ар- гоне T = 2273 К, P = 0,1 МПа, $\tau$ = 2 ч	+	+	+	+
Относительная плотность спекенных образцов	0,95	0,96	0,86	0,87
$\sigma_{изг.}^{20^\circ C}$ , МПа	340	380	220	250

ботанного Всероссийским институтом легких сплавов [5]. В работе [5] отмечается значительное повышение уровня механических свойств, особенно вязкости разрушения ( $K_{IC}$  до 7...8 МПа·м<sup>1/2</sup>), обусловленное подавлением наночастицами карбида кремния рекристаллизации зерен  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

#### Библиографический список

1. ТУ 40 – АЖПТ – 002 – 2006. Нанокарбид кремния конструкционного назначения. Введ. 2006 – 02 – 09. – Новокузнецк : СибГИУ.
2. ТП – ЦНТ – 04 – 2006. Технологический процесс плазмометаллургического производства нанокарбида кремния конструкционного назначения. Введ. 2006 – 03 – 07. – Новокузнецк : СибГИУ.
3. ТУ 40 – АЖПТ – 004 – 2006. Нитридокарбидная наноконпозиция конструкционного назначения. Введ. 2006 – 03 – 08. – Новокузнецк : СибГИУ.
4. ТП – ЦНТ – 06 – 2006. Технологический процесс плазмометаллургического производства (модифицирования) нитридокарбидной наноконпозиции конструкционного назначения. Введ. 2006 – 02 – 08. – Новокузнецк : СибГИУ.
5. Жуков М.Ф. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / М.Ф. Жуков [и др.]. – Новосибирск : Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 344 с.

УДК 669.184.054.85

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТАЛЬНОГО ЛОМА С ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОДИСТЫМ РАСПЛАВОМ В ДИФФУЗИОННОМ И ТЕПЛОВОМ РЕЖИМАХ**

Нугуманов Р.Ф., Протопопов Е.В., Харлашин П.С.

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,  
Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк  
Приазовский государственный технический университет,  
Украина, г. Мариуполь*

Основными факторами, определяющими протекание металлургических реакций, являются перенос энергии и вещества в сочетании с химическими и фазовыми превращениями. Интенсификация существующих технологических схем конвертерного производства стали и разработка новых должны основываться на достоверных представлениях о механизме процессов и факторах, лимитирующих их протекание во времени. В то же время накопленный уровень знаний по тепло-массообменным процессам и положениям физической химии применительно к процессам в сталеплавильных

агрегатах не позволяет однозначно производить точные и обоснованные расчеты продолжительности отдельных периодов плавки и прогнозировать их протекание. Результаты, полученные путем статистической обработки информации об изменении отдельных технологических и теплотехнических параметров с целью выявления их взаимосвязи, имеют весьма ограниченную область применения. Кроме того, алгоритмы расчетов по моделям, разработанные на основании статистических исследований, являются лишь копией процесса, заключающие в себе все недостатки реального объекта. В то же время совместное решение задач тепло- и массопереноса сопряжено со значительными трудностями, при этом наиболее сложным является случай тепло- и массообмена при превращениях, связанных с изменением агрегатного состояния вещества. Таким образом взаимодействие стального лома с жидкой металлической ванной представляет собой сложный тепло- и массообменный процесс, являющийся, в общем случае, нестационарным.

*Целью настоящей работы* является изучение особенностей плавления в жидком расплаве стальных сплошных тел, погруженных в ванну непрогретыми, что может быть использовано при разработке и оптимизации новых технологических решений с оптимизацией температурного режима конвертерной плавки.

Авторами работы [1] сделан вывод об определяющей роли диффузии углерода на скорость плавления лома. Следует отметить, что по выполненным экспериментальным исследованиям концентрация углерода на внешней поверхности переходной зоны плавящегося образца соответствовала линии солидус, а не ликвидус, как обычно принимается в расчетах скорости плавления [2].

Ранее установлено, что определяющее влияние на скорость диффузионного плавления оказывает температура расплава и содержание в нём углерода. Исследования показали [3], что если пренебречь диффузионным потоком в объём твердого тела (ввиду его незначительности), линейную скорость плавления  $v_x$  предварительно прогретого тела можно определить из уравнения

$$v_x = \beta_c \frac{C_p - C_{ликв}}{C_{ликв} - C_{сол}} \quad (1)$$

В выражении (1) и далее:  $\beta_c$  – коэффициент массопереноса;  $C$  – концентрация углерода;  $t$  – температура; индексы обозначают принадлежность к расплаву ( $p$ ), линии ликвидус и солидус ( $ликв$  и  $сол$ ), поверхности плавящегося тела ( $пов$ ) и собственно лома ( $л$ ).

Необходимо отметить, что создание обобщенной математической модели процесса плавления лома с учетом влияния всех факторов чрезвычайно затрудняет решение задачи, поэтому аналитический анализ выполняется, как правило, на упрощенных моделях, позволяющих получить, тем не менее, весьма ценную информацию.

Для получения адекватных качественных и количественных оценок процесса при выполнении высокотемпературного моделирования плавления металлического лома были соблюдены следующие необходимые условия проведения эксперимента:

- обеспечивался минимальный отвод тепла от погруженного образца в атмосферу над ванной;
- обеспечивалось условие постоянства температуры и состава в объеме жидкого металла в процессе плавления отдельных образцов;
- отсутствовало неконтролируемое движение расплава (электромагнитного, индукционного или пневматического характера), перемешивающее воздействие которого не могло быть учтено.

С учетом отмеченных требований, экспериментальные исследования процесса плавления образцов в железо-углеродистом расплаве выполнялись в электрической печи с независимой дугой емкостью 60 кг. Значительно большая масса расплава относительно погружаемого образца позволяет считать состав ванны в процессе плавления неизменным. При проведении экспериментов нагрев и электрическая дуга отключалась, чем прекращалось энергичное окисление углерода и практически полностью устранялось перемешивание расплава всплывающими пузырьками монооксида углерода. Конструктивные характеристики рабочего пространства тигля определяли незначительные потери тепла излучением (в условиях экспериментов скорость охлаждения ванны составляла не более 1 град/мин), что дает основания рассматривать плавление образцов как процесс, протекающий при постоянной температуре в объеме жидкого металла.

В качестве расплавляемых тел использовали образцы в виде цилиндров диаметром 40 и длиной 60 мм, изготовленные из низкоуглеродистой стали, содержащей (в среднем ) 0,17 % C, 0,20 % Si, 0,45 % Mn; 0,025 % S и 0,020 % P. При подготовке образцов по диаметру высверливали отверстия, для подвески в расплаве с использованием молибденовой проволоки. Участок молибденовой подвески над образцом защищали от непосредственного контакта с расплавом кварцевыми трубками. Небольшую часть поверхности цилиндра вокруг молибденовой проволоки покрывали слоем цирконовой обмазки. Цилиндры погружали в жидкий металл полностью, при этом зеркало ванны предварительно тщательно очищали от шлака. Такая предложенная схема крепления образцов позволяет сочетать высокую надежность крепления с обеспечением минимального отвода тепла от цилиндра в процессе его нагрева и плавления.

В случае необходимости, корректировку состава расплава по углероду осуществляли, введением порошкообразного графита в струе сжатого воздуха с помощью специального лабораторного аэрационного пылепитателя. Контроль состава металла производили отбором проб для химического анализа. Содержание углерода в расплаве составляло 0,72 – 3,78 %, концентрация других элементов была незначительной: 0,03 – 0,08 % Mn, 0,025 – 0,030 % S, 0,010 – 0,030 % P.

Температуру жидкого металла, контролировали термопарой погружения ПР-30/6, которая изменялась в пределах 1400 – 1690 °С до и после каждого опыта.

После проведения каждого эксперимента извлеченные образцы охлаждали в воде, взвешивали на аналитических весах и измеряли микрометром. Диаметр образца замеряли не менее, чем на трех участках, а истинный размер определяли как среднеарифметический. В некоторых случаях диаметр остатков образца одновременно с непосредственными измерениями рассчитывали по известным длине и массе.

Таким образом, лабораторные исследования кинетики плавления лома были выполнены в широких диапазонах изменения температур и состава железоуглеродистого расплава, включающих реальные условия промышленных способов производства стали

*Расчёт линейной скорости плавления и результаты исследований.* Известно, что плавление непрогретого стального тела, погруженного в железоуглеродистый расплав, складывается, в основном, из двух периодов – теплового, при котором на поверхности образца происходит затвердевание некоторой части расплава с последующим оплавлением застывшего слоя и регулярного, характеризующегося изменением линейных размеров погружаемого тела.

Уравнение баланса тепла в поверхностном слое расплава при этом имеет вид

$$\alpha(t_p - t_{нов}) \pm q_{скр} \rho_l \frac{dx}{d\tau} = \lambda \frac{dt}{dx}, \quad (2)$$

где знаки «+» и «-» характеризуют процесс выделения (или поглощения) тепла при намораживании (либо плавлении) корки,  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи;  $\rho$  – плотность;  $q_{скр}$  – скрытая теплота плавления.

Как установлено, в регулярном периоде плавления зависимости изменения радиуса погруженных в расплав цилиндров от времени носят линейный характер во всем исследованном интервале температур и составах жидкой ванны. Для расплавов, имеющих температуру  $t_p \geq 1550$  °С, значения линейной скорости плавления образцов не зависят от содержания углерода в жидкой фазе (рисунок 1). Обнаруженное явление может быть объяснено следующим образом.

Концентрация углерода в поверхностном слое образца определяется, как

$$C_{нов} = C_p - \frac{v_x \rho_l}{\beta_c \rho_p} (C_p - C_l). \quad (3)$$

При высокой линейной скорости плавления лома  $v_x$ , наблюдаемой в случае значительного превышения температурой расплава температуры ликвидуса образца, величина  $C_{нов}$  непрерывно приближается к  $C_l$ .

Если считать, что взаимосвязь  $C_{нов}$  и  $t_{нов}$  однозначна и характеризуется уравнением линии ликвидуса, то постоянному значению  $C_{нов}$  соответствует неизменная величина  $t_{нов}$  и на  $v_x = -\frac{dx}{d\tau}$  определяющее влияние оказывает не скорость процесса диффузии углерода в твердый поверхностный слой тела, а интенсивность подводимого теплового потока.

При  $t_p \leq 1550$  °С плавление лома происходит в результате одновременного переноса тепла и углерода в объема расплава в поверхностный слой тела и  $v_x$  оказывается зависящей от  $t_p$  и  $C_p$ , причём влияние  $C_p$  весьма существенно (рисунок 1), что согласуется с результатами ранее выполненных исследований [1 – 4].

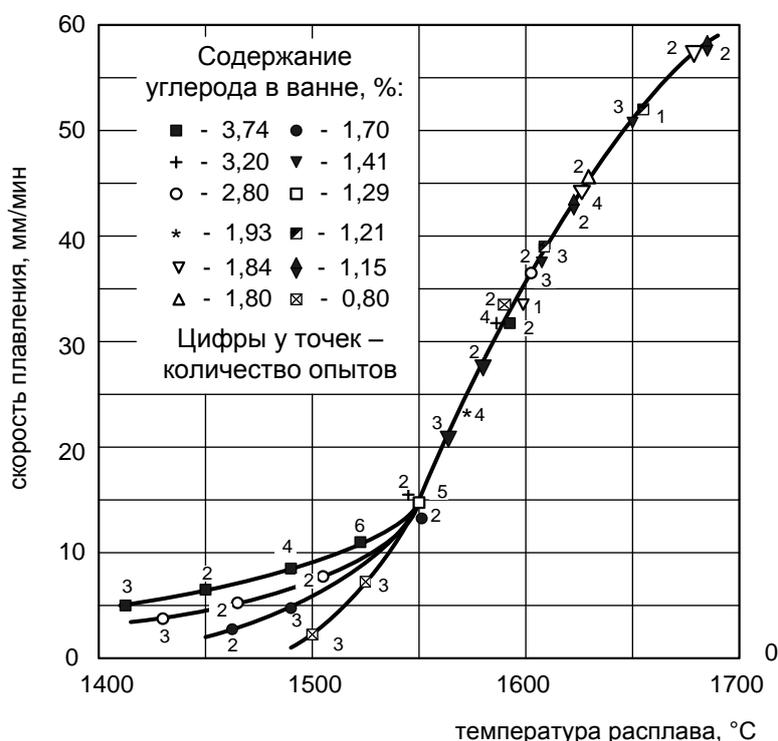


Рисунок 1 – Зависимость скорости плавления стальных цилиндров от температуры и состава жидкой ванны

Скорость диффузионного плавления лома может быть определена из выражения

$$0,01\beta_c(C_p - C_{нов})\rho_p d\tau = -dx \cdot 0,01(C_p - C_{л})\rho_l, \quad (4)$$

если известна концентрация  $C_{нов}$ .

Если на диаграмме Fe-C параметры ванны представить точкой с координатами  $(t_p; C_p)$ , то проекции её на координатные оси пересекут линию ликвидуса в точках  $(t_p; C_{ликв})$  и  $(t_{ликв}; C_p)$ . При этом температура и состав плавящегося слоя твёрдого тела отвечают некоторому промежуточному состоянию  $(C_{нов}; t_{нов})$ .

Допустим, что

$$C_{нов} = \frac{C_p + C_{ликв}}{2}; \quad t_{нов} = \frac{t_{нов} + t_{ликв}}{2}. \quad (5)$$

Если уравнение участка кривой ликвидуса представить в линеаризованном виде

$$t_{ликв} = p - kC_{ликв}, \quad (6)$$

тогда

$$C_{ликв} = \frac{p - t_p}{k} \quad (7)$$

и получим

$$C_{нов} = \frac{C_p k + p - t_p}{2k} = \frac{p - (t_p - C_p k)}{2k}. \quad (8)$$

Соответственно,

$$t_{ликв} = p - kC_p$$

$$t_{нов} = \frac{t_p + p - kC_p}{2} = \frac{p + (t_p - C_p k)}{2k} \quad (9)$$

Необходимо отметить, что выражения (8) и (9) могут быть применены, если имеет место диффузионное плавление скрапа ( $t_p < t_{ликв}^{лом}$ ), т.к. в противном случае координаты горизонтальной проекции не имеют физического смысла.

Приблизённо

$$t_{ликв} = 1539 - 86 [\%C] \quad (10)$$

следовательно

$$C_{нов} = \frac{1539 - (t_p - 85C_p)}{170} \quad (11)$$

и

$$t_{нов} = \frac{1539 + (t_p - 85C_p)}{2}$$

В соответствии с (4) и (11) получим

$$v_x = \beta_c \frac{C_p - C_{нов}}{C_p - C_l} \cdot \frac{\rho_p}{\rho_l} = \frac{\beta_c \rho_l (t_p - 1539 + 85C_p)}{170 \rho_l (C_p - C_l)}. \quad (12)$$

В неперемешиваемой ванне  $\beta_c = 2 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-4}$  м/с [4], примем  $\beta_c = 2,5 \cdot 10^{-4}$  м/с.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений линейной скоро-

сти диффузионного плавления образцов представлено в таблице 1.

Как показывает анализ, с учетом принятых допущений совпадение результатов эксперимента и расчетов следует считать достоверным. Отметим, что в случае, когда температура расплава приближается к температуре плавления образцов ( $t_{i\bar{e}} \approx 1500 - 1520 \text{ }^\circ\text{C}$ ) при  $C_{нов} \sim C_{мс}$  и из уравнения (13)

$$v_x = \beta_c \frac{\rho_p}{\rho_l} = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{7000}{7800} = 2,24 \cdot 10^{-4} \text{ м/с} = 13,46 \text{ мм/мин},$$

что соответствует полученным результатам экспериментов (рисунок 1).

Таблица 1 – Экспериментальная и расчетная скорости диффузионного плавления образцов лома

$t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	$C_p, \%$	$C_{нов}, \%$	Скорость плавления $v_x$ , мм/мин (мм/сек)	
			Опыт	Расчёт
1420	3,74	2,66	3,73 (0,062)	3,84 (0,064)
1430	3,74	2,49	4,76 (0,079)	4,48 (0,075)
1480	3,74	2,20	5,69 (0,095)	5,54 (0,092)
1420	2,80	2,10	3,11 (0,052)	3,48 (0,058)
1450	2,80	1,92	3,94 (0,066)	4,37 (0,073)
1500	2,80	1,62	6,15 (0,102)	5,94 (0,099)
1450	1,70	1,32	2,02 (0,034)	2,58 (0,043)
1490	1,70	1,09	4,48 (0,075)	4,66 (0,078)
1500	0,80	0,68	4,29 (0,072)	4,70 (0,079)

В условиях, когда температура расплава превышает температуру ликвидус образца лома, последний будет плавиться со скоростью, не зависящей от состава жидкой фазы (правая ветвь кривой, рисунок 1). В этом случае скорость плавления  $v_x$  пропорциональна температуре расплава при постоянстве  $[C]_{нов} = [C]_{мс}$  и  $t_{нов} = t_{нл}^n$  для любых значений  $[C]_p$  (рисунок 2).

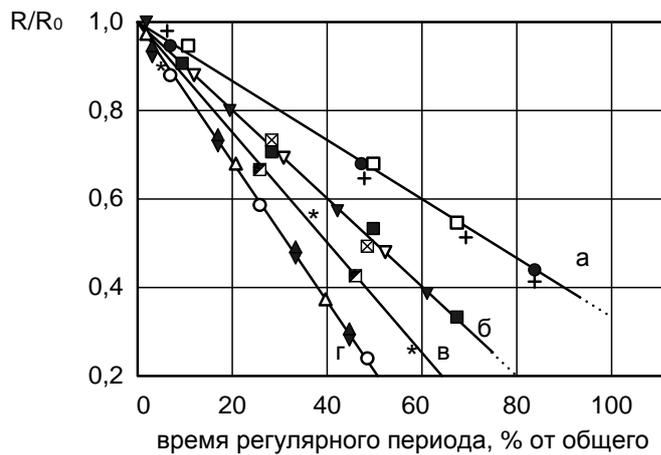
При  $t_p > t_{нл}$  линейная скорость плавления может быть определена из выражения (3), записанного в виде

$$v_x = \frac{\alpha \Delta t}{q_{скр} \rho_l} = \frac{\alpha (t_p - t_{нл}^n)}{q_{скр} \rho_l}. \quad (14)$$

В таблице 2 приведены результаты экспериментального и расчетного определения линейной скорости плавления тел в расплаве, температура которых превышала температуру плавления образцов. При расчетах принято:

$$\alpha = 10000 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}) = 11630 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

$$t_{нл}^n = 1500 \text{ }^\circ\text{C}, q_{скр} = 65 \text{ ккал/кг} = 272 \text{ кДж/кг}.$$



а –  $T_B = 1550$  °C; [C]в, %: + - 3,20; ● - 1,70; □ - 1,29  
 б –  $T_B = 1580$  °C; [C]в, %: ■ - 3,74; ▽ - 1,84; ▼ - 1,41;  
 в –  $T_B = 1600$  °C; [C]в, %: \* - 1,93; ☒ - 1,21  
 г –  $T_B = 1620$  °C; [C]в, %: ○ - 2,80; △ - 1,80; ◆ - 1,15

Рисунок 2 – Изменение радиуса стальных цилиндров при их плавлении в расплаве

Таблица 2 – Линейная скорость плавления образцов (цилиндров)

$t_p, °C$	Интервал $C_p, \%$	Скорость плавления $v_x, \text{мм/мин}$		Относительная ошибка, %
		Расчёт	Опыт	
1550	1,29...3,20	16,44	15,83	+ 3,85
1570	1,93...3,88	23,01	22,50	+ 2,27
1580	0,80...3,74	26,30	25,58	+ 2,81
1600	0,80...3,74	32,87	34,17	- 3,80
1620	1,15...2,80	39,45	39,03	+ 1,08
1650	1,21...1,41	49,31	50,50	- 2,36
1690	1,15...1,84	62,46	62,33	+ 2,06

**Выводы:**

– эксперименты по изучению кинетики плавления выполнены по модернизированной методике, отличающейся от применяемые ранее, и предусматривающей погружение в жидкую ванну всего образца (а не его части). При этом практически устранена погрешность, связанная с отводом неучитываемой части тепла вдоль образца в атмосферу, что позволило получить более точные количественные характеристики процесса плавления.

– установлено, что линейная скорость плавления стального тела в железоуглеродистом расплаве, имеющем температуру  $t_p > 1550$  °C, не зависит от содержания углерода в жидкой фазе и определяется интенсивностью под-

водимого к межфазной поверхности теплового потока.

– определено, что диффузионное растворение образцов лома в расплавах, имеющих температуру  $t_p < 1500$  °С, подвержено одновременному протеканию процессов переноса вещества и энергии. В этих условиях линейная скорость фазового превращения тела определяется как температурой расплава (теплоотдача), так и ее составом (диффузия).

– выполнено сопоставление экспериментальной и расчетной линейных скоростей плавления образцов при диффузионном растворении и в режиме собственно плавления; показано удовлетворительное соответствие результатов опытов и расчетов.

#### Библиографический список

1. Булгаков Г.В., Явойский В.И., Григорьев В.П. К вопросу о кинетике плавления железа в расплаве чугуна. // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1969. – № 11. – С. 28 – 31.
2. Капустин Е.А. Плавление металлического лома при скрап-рудном мартеновском процессе. // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1965. – № 7. – С. 32 – 35.
3. Баптизманский В.И., Гольдфарб Э.М., Шерстов В.И. Диффузионное плавление стального лома в железоуглеродистом расплаве // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1972. – № 10. – С. 48 – 51.
4. Теоретические основы сталеплавильных процессов. Учебное пособие для вузов. Айзатулов Р.С., Харлашин П.С., Протопопов Е.В. – М.: МИСиС, 2002. – 320 с.

УДК 621.746.047

## **РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША СЛЯБОВОЙ МНЛЗ**

ФЕЙЛЕР С.В., ПРОТОПОПОВ Е.В., ГАНЗЕР Л.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк*

Достигнутый к настоящему времени уровень технологии непрерывной разливки стали позволяет производить широкий сортамент металлопродукции повышенного качества. В то же время требования к качеству стального проката в последние годы значительно возросли, в частности, по содержанию вредных примесей, а также количеству, составу и характеру расположения неметаллических включений, степени развития осевой структурной и химической неоднородности [1].

Долгое время основное внимание исследователей было направлено на совершенствование процессов формирования слитка в кристаллизаторе и зо-

не вторичного охлаждения, а промежуточный ковш считался лишь демпфирующей емкостью для смены сталеразливочного ковша при серийной разливке.

В настоящее время промежуточный ковш необходимо рассматривать как самостоятельный агрегат для дополнительного рафинирования. При этом применение шлакообразующих смесей (ШОС) в промежуточном ковше позволяет уменьшить тепловые потери, защитить поверхность металла от вторичного окисления, а также способствует ассимиляции всплывающих неметаллических включений и повышению качества металла.

Перед многими металлургическими предприятиями, имеющими в своем составе МНЛЗ, остро встает проблема шлакообразующих смесей, которая решается разработкой и изготовлением собственных составов или покупкой готовых ШОС у специализированных предприятий. В России и странах СНГ нет централизованного производства шлакообразующих смесей для МНЛЗ, а стоимость импортных смесей очень высока. Использование собственных ШОС позволяет снизить себестоимость продукции, более гибко реагировать на потребности в определенном типе смеси для марочного сортамента разливаемой стали, а также не зависеть от сторонних поставщиков.

Шлакообразующие смеси большинства предприятий похожи по химическому составу, однако для их изготовления используются различные исходные материалы. Выбор исходных компонентов обусловлен наличием тех или иных материалов в регионе, возможностью их поставки, ценой, трудоемкостью подготовки к использованию и технологией изготовления смесей, принятой на данном предприятии.

В настоящее время в 60-т промежуточном ковше двухручьевого слябовой МНЛЗ кислородно-конвертерного цеха № 2 ОАО «ЗСМК» применяются двухслойные шлакообразующие смеси фирмы «Stollberg», состоящие из двух разных по назначению смесей: первый, нижний слой – активная легкоплавкая смесь, выполняющая функции ассимиляции неметаллических включений, а вторая, подаваемая сверху на нижний слой – теплоизолирующая тугоплавкая смесь.

Главным недостатком используемых смесей является их высокая стоимость. В то же время для промежуточного ковша сортовой МНЛЗ ККЦ № 2 шлакообразующие смеси производятся на специальном участке, расположенном в цехе. При этом в качестве исходных компонентов используются в основном отходы местных промышленных предприятий, не требующие предварительной подготовки, такие как тонкодисперсные пыли газоочисток производства алюминия и ферросилиция, аспирации производства извести, шлак производства феррохрома.

Марочный сортамент сталей, разливаемых на слябовой МНЛЗ значительно отличается от сортамента сортовой МНЛЗ. В основном на слябовой МНЛЗ осуществляется разливка низкоуглеродистых низкокремнистых сталей, раскисленных алюминием. Неметаллические включения, образующиеся при раскислении алюминием, представляют собой тугоплавкие соединения

$\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с другими окислами, при ассимиляции таких включений шлаковым покровом ухудшаются свойства шлакового расплава. В связи с этим расплав ШОС должен обладать повышенной ассимиляционной способностью по отношению к включениям на базе  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и, соответственно, более длительным сохранением жидкоподвижности. Сохранение ассимиляционной способности шлакового расплава при длительной разливке в значительной степени определяется его основностью. Так, шлаки с основностью 0,5 – 1,5 сохраняют ассимиляционную способность при содержании  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в шлаковом расплаве не более 35 % [2]. Компоненты ШОС для сортовой МНЛЗ не могут обеспечить комплекс физических свойств необходимых для слябовой МНЛЗ. Поэтому в качестве дополнительных компонентов ШОС были рассмотрены следующие материалы: сода кальцинированная, плавиковый шпат, криолит. На основе проведенных исследований фракционного, химического состава и физических свойств исходных компонентов были рассчитаны составы и изготовлены опытные образцы смесей на базе системы  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

На первом этапе лабораторных исследований оптическим методом при 35 – 50 кратном увеличении в отраженном свете определили температуру и скорость плавления опытных смесей. При этом нагрев и расплавление материала производились на микроречи, основными элементами которой являются: платиновая пластина для нагрева, и термopара для измерения температуры. В дальнейшем были определены кинематическая вязкость шлакового расплава при температурах 1300 и 1400 °С, насыпная объемная масса смеси и угол естественного откоса.

Результаты проведенных исследований физико-химических свойств опытных смесей позволили получить информацию о влиянии исходных компонентов на физические свойства ШОС, а также определить целесообразность использования компонентов и их оптимальное содержание в смесях, обеспечивающее необходимые свойства ШОС (таблицы 1 – 3).

Разработанные составы шлакообразующих смесей использовались при разливке низкоуглеродистой низкокремнистой стали, раскисленной алюминием, в слябы толщиной 200 и 250 мм. Проведенные опытно-промышленные испытания показали высокие эксплуатационные характеристики разработанных шлакообразующих смесей. При этом технологические свойства кислой смеси оказались выше основной, шлаковый расплав достаточно быстро растекался по поверхности металла, закрывая ее полностью плотным слоем. Теплотери металла в процессе разливки плавов находились на уровне импортных смесей и в среднем составили 8 °С за плавку. По сравнению с импортными ШОС при использовании кислой смеси не отмечено проблем с застыванием разливочных стаканов тугоплавкими оксидами алюминия, что свидетельствует о более высокой ассимиляционной способности разработанной смеси. При использовании основной смеси из-за более высокой основности и температуры плавления отмечено комкование и спекание порошка в начале разливки первой плавки в серии, приводящее к локальному ого-

лению «зеркала» металла.

Таблица 1 – Химический состав исходных компонентов и шлакообразующих смесей, разработанных для промежуточного ковша слябовой МНЛЗ

	Химический состав ШОС, %							
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F	C <sub>общ</sub>	CaO/SiO <sub>2</sub>
Пыль газоочистки производства ферросилиция	≥ 85	≤ 3	-	≤ 4		≤ 1	≤ 1	
Пыль аспирации производства извести	≤ 8	75-90	≤ 2	≤ 1		-	≤ 1	
Пыль газоочистки производства алюминия	≤ 2	≤ 3	25-45	8-16		12-22	20-40	
Плавиновый шпат	15-30	-	-	-	-	CaF <sub>2</sub> 55-78	-	
Сода кальцинированная	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – 99,5							
Графит скрытокристаллический	Зольность 17-22 %						75	
Кислая смесь	40,1- 42,1	28,8- 30,9	4,0- 5,5	3,5- 4,8	0,1- 0,3	2,6-3,5	8,7- 9,9	0,7-0,8
Основная смесь	21,0- 23,5	35,0- 39,5	6,0- 7,5	6,0- 7,8	0,1- 0,5	4,0-5,8	10,0- 11,4	1,6-1,7

Таблица 2 – Компонентный состав шлакообразующих смесей для промежуточного ковша слябовой МНЛЗ

	Доля компонентов, %					
	П-ФС	П-Изв	П-Ал	Плавиновый шпат	Сода	Графит
Кислая смесь	39÷43	29÷33	6÷10	2÷5	4÷7	8÷10
Основная смесь	18÷21	31÷36	12÷16	9÷12	10÷13	9÷11

Таблица 3 – Физические свойства шлакообразующих смесей для промежуточного ковша слябовой МНЛЗ

	Насыпная объемная масса, т/м <sup>3</sup>	Угол естественного откоса, град	Температура плавления, °С	Вязкость, Па·с при температуре, °С	
				1300	1400
Кислая смесь	0,45-0,6	25-35	1220-1320	1,85-2,15	1,25- 1,55
Основная смесь	0,65-0,75	29-39	1270-1370	2,40-2,70	1,80- 2,10

#### Библиографический список

1. Куклев А.В., Тиняков В.В., Айзин Ю.М., Гуцин В.Н., Ульянин В.А., Ор-

дин В.Г., Ламухин А.М., Загорулько В.П. Оптимизация гидродинамических характеристик промежуточного ковша УНРС с целью удаления экзогенных неметаллических включений // *Металлург.* – 2004. – № 4. – С. 47 – 49.

2. Лейтес А.В. Защита стали в процессе непрерывной разливки стали. М.: *Металлургия*, 1984. – 197 с.

УДК 621.73

## КАЧЕСТВО ШАРОВОЙ ЗАГОТОВКИ

ПЕРЕТЯТЬКО В.Н., ФИЛИППОВА М.В., ФЕДОРОВ А.А., БАХАЕВ А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Применяемые в настоящее время технологические процессы полуогоречей и горячей объемной штамповки осесимметричных деталей из цилиндрической заготовки имеют большой недостаток, который заключается в том, что резка цилиндрических заготовок сопровождается колебанием массы за счет искажения геометрии торцов заготовки и изменения ее длины. Поэтому штамповка таких заготовок проводится с облоем.

Одним из перспективных направлений развития кузнечного производства является штамповка осесимметричных деталей из шаровых заготовок.

В работе в качестве заготовок были использованы шары диаметром 93мм, полученные поперечно-винтовой прокаткой на шаропркатном стане ОАО «НКМК», который прокатывает шары для мельниц и шаровую заготовку для последующей штамповки.

Для определения отклонения массы полученных шаров от номинального развеса были отобраны три партии шаров диаметром 93 мм по 100 штук в каждой партии и проведено взвешивание каждого шара с точностью до 1 грамма.

Проведя статистическую обработку экспериментальных данных по взвешиванию шаровой заготовки [1], получили следующие данные:

– средняя масса шара равна  $m = 3332$  грамм;

– среднеквадратическая погрешность результата серии измерений  $\Delta S_m = 3,1$ .

Задавая степень надежности  $\alpha = 0,95$  и количество замеров 100, находим табличный коэффициент Стьюдента  $t_\alpha = 1,98$ . В этом случае погрешность замеров равна:

$$\Delta m = t_\alpha \cdot \Delta S_m,$$

$$\Delta m = 1,98 \cdot 3,1 \approx 6 \text{ г.}$$

Тогда доверительный интервал, с надежностью  $\alpha = 0,95$  равен  $3332 \pm 6$  г. Относительная погрешность результатов не превышает 0,2 %. При замерах второй партии относительна погрешность 2,1 % и в третьей серии

1,5 %.

Таким образом, отклонение массы шаровой заготовки от среднего значения незначительно и шаровую заготовку можно с успехом использовать для безоблойной штамповки осесимметричных поковок. Исследования подтверждаются данными других авторов [2, 3] о высокой точности шаров, получаемых поперечно-винтовой прокаткой.

В связи с тем, что после прокатки шаровая заготовка имеет два полюса отрыва (место отделения шара от прутка) провели исследование связанные с ориентацией осей полюсов на качество поковки при осадке. Для этого шаровые заготовки нагретые до ковочной температуры осаживали на плоских плитах до высоты 22 мм, при этом величина относительной деформации составляла 76 %. Осадку шаров проводили с расположением оси полюсов горизонтально (параллельно плоскости плит), вертикально (перпендикулярно плоскости плит) и под углом 45 град. к плоскости плит.

Исследования показали, что в том случае, когда ось полюсов отрыва заготовки прутка расположена горизонтально и полюс отрыва находится на свободной боковой поверхности, на поковке наблюдается раскрытие рисок и мелких трещин, которые образовались во время прокатки. Максимальная ширина раскрытия трещин до 2 мм и глубина трещин до 0,75 мм. Количество и размеры дефектов вблизи полюсов отрыва зависят от условий прокатки шаров, настройки стана и износа калибров. При соответствующей настройке валков и соблюдения технологии прокатки в месте отрыва шаров от прокатываемой штанги трещины и рыхлости металла практически отсутствуют.

Из всех осажённых заготовок вырезали темплеты для исследования макроструктуры и замеров твердости, при этом плоскость разреза поковки из шаровой заготовки проходила через полюса отрыва. Направление волокон, выявленное после травления реактивом Фри, слабо зависит от положения полюсов при осадке шара.

При вертикальном расположении оси полюсов шара волокна вытянуты и симметрично изогнуты в соответствии с контуром заготовки. При горизонтальном расположении оси полюсов волокна также вытянуты и симметрично изогнуты в соответствии с контуром заготовки. При расположении оси под углом 45 град. волокна вытянуты относительно полюсов и расположены несимметрично.

Твердость по Бринеллю замеряли вдоль горизонтальной оси симметрии в трех точках сечения заготовки: центральной, периферийной и средней. Замеры твердости показали, что ее величина не зависит от положения оси полюсов и составляет 159-162НВ.

Таким образом, исследования показали, что при осадке заготовки из шара механические свойства металла (твердость) не зависят от расположения оси полюсов перед осадкой и шаровую заготовку можно штамповать с любым расположением осей полюсов.

## Библиографический список

1. Кассандрова О.Н. Обработка результатов наблюдений / О.Н. Кассандрова, В.В. Лебедев. – М.: Наука, 1970.
2. Мошаров А.А. Применение поперечно-винтовой прокатки в кузнечно-штамповочном производстве / А.А. Мошаров. – Кузнечно-штамповочное производство. – 1969. – № 12. – С. 38 – 39.
3. Целиков А.Н. Технология и станы для прокатки круглях периодических профилей / А.И. Целиков, С.П. Милютин, И.И. Казанская, Е.Н. Левин – Технология и станы для прокатки круглях периодических профилей. – Металлургия. – 1970. – № 4. – С. 40 – 43.

УДК 621.735:669.715

## **РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОДИФИЦИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА**

Почетуха В.В., Перетьяко В.Н., Почетуха В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Области применения силуминов эвтектического и заэвтектического составов определены достаточно широко. Они используются и как литейные сплавы, так и в последнее время как деформируемые. Деформационные способы обработки данных сплавов раскрывают большие возможности их использования особенно в машиностроении.

Исходя из этого, очень важно знать реологические свойства силуминов эвтектического и заэвтектического составов при температурах горячей деформации в зависимости от модифицирующего эффекта.

Известно, что повышенное содержание кремния у эвтектических и особенно у заэвтектических сплавов резко снижает их пластичность и повышает сопротивление деформированию. Поэтому с целью увеличения пластических свойств у этих сплавов проводят модифицирование и дополнительно пластическое деформирование.

Это доказывается проведенными исследованиями на кручение силуминов в литом и ковном состоянии с процентным содержанием 20 % Si в зависимости от способа приготовления. Для сравнительной оценки свойств испытывались двойные, двойные наводороженные, двойные наводороженные закаленные, двойные модифицированные 0,1 % CuP сплавы.

Полученные результаты исследований и проведенный микроструктурный анализ данных силуминов показывают, что деформация, наводороживание, закалка, модифицирование приводит к измельчению всех структур-

ных составляющих, особенно кремнистой фазы. Также проявляется волокнистость структуры, причем в направлении деформации вытягиваются и участки кремнистой фазы.

В связи со структурными изменениями данных сплавов произошли изменения их пластических свойств. Уменьшение в результате пластической деформации количества и размера выделений кремнистой фазы в заэвтектических состояниях кованных сплавов по сравнению с литыми в зависимости от способа приготовления приводит к снижению сопротивления деформации (таблица 3) и к существенному приросту пластичности: для двойного сплава в 2,14 раза, наводороженного в 1,75 раза, наводороженного и закаленного в 1,8 раза, модифицированного 0,1 % CuP в 2,1 раза. Данные исследования показывают, что проведенная предварительная обработка по улучшению структуры и свойств исходных силуминов позволяет незначительно повысить их пластические свойства, как в литом, так и в кованом состояниях. В связи с этим уменьшается разница их пластических свойств в литом и кованом состояниях. Лучший результат в этом направлении дает модифицирование данных сплавов фосфористой медью.

Для выявления влияния скорости деформации на пластические свойства данных сплавов, как уже указывалось, проводились испытания при различных скоростях скручивания: 8, 100, 420 об./мин. Из анализа проведенных исследований можно заключить следующее. Для сплава, содержащего 20 % кремния в литом состоянии, с увеличением скорости скручивания с 8 до 420 об./мин пластичность падает в 2 раза. В кованом состоянии для этих же условий пластичность падает в 1,3 – 1,4 раза. Для двойного наводороженного сплава в литом состоянии при таких же скоростях пластичность уменьшается в 1,32 раза, а в кованом в 1,31 раза. Для двойного наводороженного закаленного сплава, содержащего 20 % кремния, в литом состоянии при этих же условиях наблюдается снижение пластичности в 1,31 раза, а в кованом – в 1,35 (1,3 – 1,4) раза. Для двойного модифицированного 0,1 % CuP сплава в литом состоянии при этих же условиях наблюдается снижение пластичности в 1,15 раза, а в кованом – в 1,05 раза.

Снижение пластичности с увеличением скорости скручивания в литом состоянии у этих сплавов объясняется их повышенной хрупкостью, наличием в структуре первичных выделений кремнистой фазы, которые являются зародышами трещин. В процессековки происходит изменение этой фазы и равномерное распределение ее по телу заготовки. Значительная неомогенность деформации при высоких скоростях скручивания способствует повышению общего уровня пластичности.

В результате проведенных испытаний данных силуминов в литом и кованом состояниях определены значения температур, соответствующие максимальным значениям пластичности, которые представлены в таблице 1.

Данные таблицы 2 показывают, что для повышения пластичности и степени деформации при штамповке рассматриваемых сплавов необходимо проводить их предварительную пластическую деформацию.

Таблица 1

Содержание кремния, % и способ приготовления	20	20 н	20 н+з	20 0,1CuP
Температура максимальной пластичности в литом состоянии, °С	550	550	550	550
Температура максимальной пластичности в ковном состоянии, °С	500	500	500	500

Таблица 2

Содержание кремния, % и способ приготовления.	20	20 н	20 н+з	20 0,1CuP
Предельная степень деформации в литом /ковом состоянии, %	51,6/63,5	52,2/62,5	52,3/67,5	52,2/70
Показатель пластичности в литом /ковом состоянии, %	46,79/58,34	47,39/57,36	47,4/62,3	47,4/64,9

Одним из основных показателей, которые определяют энергосиловые затраты в процессах ОМД, является сопротивление деформации. Временное сопротивление деформации при кручении (в мегапаскалях) определяется по известной зависимости [3]. Результаты исследования влияния температуры и скорости скручивания на сопротивление деформации силуминов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Содержание кремния в сплаве, % и способ приготовления.	Скорость скручивания, об./мин	Сопротивление деформации, МПа					
		Температура деформирования, °С					
		350	400	450	500	525	550
Литой 20	8	77,15	58,29	45,39	34,6	21,19	19,07
Литой 20 н	8	78,7	60,6	50,31	38,42	25,61	23,4
Литой 20 н+з	8	77,1	63,43	52,5	41,56	29,14	27,89
Литой 20 0,1 CuP	8	80,71	62,9	49,21	40,15	26,25	24,54
Кованый 20	8	52,12	41,99	34,2	24,48	19,74	17,07
Кованый 20 н	8	66,32	50,24	32,48	27,14	23,9	21,87
Кованый 20 н+з	8	63,43	45,15	33,1	26,22	23,58	19,69
Кованый 20 0,1 Cu.P	8	67,80	54,28	35,85	25,23	18,5	17,5
Литой 20	100	92,15	67,38	50,24	41,05	35,17	28,5
Литой 20навод.	100	95,4	79,1	58,8	43,22	38,35	30,14

Продолжение таблицы 3

Содержание кремния в сплаве, % и способ приготовления.	Скорость скручивания, об./мин	Сопrotивление деформации, МПа					
		Температура деформирования, °С					
		350	400	450	500	525	550
Литой 20 н+з	100	105,99	84,92	63,12	45,61	40,22	31,70
Литой 20 0,1 CuP	100	95,8	71,6	53,37	44,3	40,3	30,54
Кованый 20	100	69,01	51,64	44	32,51	30,72	29,14
Кованый 20 н	100	66,96	51,35	41,77	30,79	28,67	25,61
Кованый 20 н+з	100	66,15	51,1	41,1	30,77	27,04	25
Кованый 20 0,1 CuP	100	70,97	58,91	37,2	28,74	26,12	21,01
Литой 20	420	117,59	85,51	63,89	51,26	42,3	34,5
Литой 20 н	420	120,82	94	68,3	56,3	51,5	38,42
Литой 20 н+з	420	124,98	96,99	74,72	59,1	56,87	43,32
Литой 20 0,1 CuP	420	124,67	89,67	64,52	53,1	50,31	37,1
Кованый 20	420	71,68	66,32	53,25	41,14	33,25	31,7
Кованый 20 н	420	80,28	62,81	49,02	39,62	36,7	30,62
Кованый 20 н+з	420	74,4	59,16	48,97	37,44	34,23	32,81
Кованый 20 0,1 CuP	420	94,05	88,6	56,75	49,5	30,69	30,18

Вывод. Измельчение первичных выделений кремнистой фазы в данных сплавах можно достичь за счет модифицирования литой структуры различными способами, однако лучшего результата в дроблении первичного кремния достигают за счет пластичной деформации или совместного использования двух вышеуказанных способов.

УДК 539.374:539.388.25:669-412

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОВКИ КРУПНЫХ СЛИТКОВ

Почетуа В.В., Никитин А.Г., Почетуа В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Технологияковки крупных кузнечных слитков стоит особняком в области обработки металлов давлением. Этот процесс обработки металлов давлением использует самое большое и мощное оборудование и соответственно самые крупные поковки – массой от нескольких до сотен тонн. Ковка слитков относится к трудоемким технологическим процессам. Однако, дальней-

шее развитие машиностроения требует улучшения качества деталей крупных машин при снижении экономических затрат для этих целей.

Снижение расхода металла зависит от качества слитков, их конфигурации и уменьшения технологических отходов.

Известно, что с увеличением массы слитка растет неоднородность структуры и свойств металла. Для устранения неоднородности используют увеличение конусности тела слитка и уменьшения его относительной высоты, что в свою очередь ведет к увеличению концевых отходов и затрудненной проработке осевых зон слитка.

Выбор оптимальных технологических приемов ковки, операций и их последовательности также служат снижению материалоемкости, повышению качества металла и производительности.

Основными этапами (операциями) свободной ковки крупных кузнечных слитков являются биллетировка, осадка, протяжка и далее по технологической карте.

Поковки, получаемые свободной ковкой, можно разделить на две группы: первая-поковки удлиненной формы, вторая-поковки укороченной формы с увеличенной средней частью. Для поковок первой группы основными операциями ковки являются биллетировка, протяжка. Для поковок второй группы основными операциями ковки являются биллетировка, осадка, протяжка.

Резервом повышения производительности ковки слитков следует считать исключение биллетировки как и перед протяжкой, так и перед осадкой.

Реализация данных технологических схем на разных заводах страны реализуется по-разному. В основном это связано с культурой ковки на конкретном заводе, выработанной многими поколениями. Хотя при этом соблюдение технологической дисциплины не всегда выдерживается разными бригадами.

Данный технологический опыт анализировался на примере работы кузнечно-прессового цеха ОАО «ЗСМК».

Технологическому переделу на прессовом участке в КПЦ ОАО «ЗСМК» подвергались слитки массой 7 – 10 т, выплавленных в основном в литейном цехе.

На качество поковок, изготовленных из кузнечных слитков, оказывают влияние, как факторы металлургического характера, так и факторы, возникающие в процессе ковки. Наиболее часто встречающиеся дефекты слитков – продольные и поперечные поверхностные трещины, неметаллические включения, усадочные раковины, пузыри, неоднородность строения слитка. В крупных кузнечных слитках наиболее опасны внутренние дефекты – осевая пористость и пустоты, во многих случаях предотвратить их трудно и невозможно.

На примере семи- и десятитонных слитков сталей 38ХНЗМА, 40Х, 40 литейного цеха ЗСМК мы исследовали качество металла до и после деформирования, а также технологию ковки. Слитки семи (Н/Д = 2,21; Н – высота

тела слитка, мм;  $D$  – диаметр, мм) и десяти ( $H/D = 1,44$ ) тонные отливались из металла, выплавленного в электропечи ДСП – 25 с полным окислением.

Для проверки тезиса о возможности исключения операции биллетировки перед осадкой слитка на гидравлическом прессе усилием 2000 т.с. нами проведены опытные ковки деталей типа «бандаж» из 7 и 10 т слитков по двум схемам. Известно, что обжатие ребер слитка вводится с целью улучшения механических свойств поверхностных слоев литого металла, предупреждения их быстрого остывания и снижения пластичности.

Проведенные опытные ковки слитков показали, что малые обжатия на этой операции существенного влияния на механические свойства металла не оказывают. Не наблюдается и резкого снижения пластических свойств ребер слитков углеродистой и малолегированной сталей. Данный опыт ковки без биллетировки показал, что никогда не бывает разрывов по ребрам слитков. Не увеличивается и количество поверхностных дефектов по сравнению с поковками, у которых применялась биллетировка.

Известно, что после осадки слитка в его средней части образуется бочкообразность с осевой рыхлостью, которая в дальнейшем может привести к образованию внутренних трещин и несплошностей. Для недопущения этого проводят после осадки обязательную протяжку. Наши исследования показали, что при повышенных температурах (1240 – 1300 °С) и степени деформации, равной 20 – 35 %, происходит заваривание внутренних дефектов, хорошая проработка внутренних слоев тела слитка и получение, следовательно, однородной структуры по сечению и длине поковки.

Нами установлено, что при протяжке осаженого слитка необходимо соблюдать режим опережающей деформации в направлении от прибыли к дну средней части слитка со смещением ее в сторону подприбыльной части на 1/3 длины очага деформирования.

Правомерность данных тезисов доказывается проведенными нами исследованиями на горячее скручивание сплошных цилиндрических образцов диаметром 6мм и длиной рабочей части 30мм в интервале температур 850 – 1300 °С, вырезанных из различных зон слитков. Эти исследования показали увеличение пластических свойств и однородности металла после ковки по предложенным схемам.

Вывод. Одним из основных направлений обеспечения технологической эффективности ковки слитков следует считать достижение необходимой величины деформации при минимальном количестве операций и проектирование режимов обжатий, обеспечивающих минимум затрат энергии.

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА ИЗ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА, В УСЛОВИЯХ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТОРНОГО ПРОЦЕССА**

Жибинова И.А., Шакиров К.М., Протопопов Е.В., Шакиров М.К.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Вопросы поиска ресурсосберегающих технологий производства стали относятся к наиболее актуальным и привлекают все большее внимание исследователей теоретического и практического направлений.

Как известно, металлургическая отрасль является одной из самых консервативных в отношении замены применяемых технологий и агрегатов принципиально новыми и более эффективными. Перспективы развития конвертерных процессов в последнее время в значительной степени связаны с нахождением энергосберегающих вариантов переработки в конвертерах железорудного сырья способом жидкофазного восстановления. Однако при реализации таких процессов возникает целый ряд проблем, относящихся к особенностям технологии, при исследовании и решении которых наиболее эффективным инструментом, на наш взгляд, является использование высокотемпературного и математического моделирования, что позволяет уйти от дорогостоящих методов проб и ошибок. Последнее, кроме возможности оперативного подбора оптимальных параметров по ходу процесса, позволяет в ряде случаев выявить и новые, неизвестные до сих пор закономерности его протекания.

В связи с наметившимся в последние годы развитием новых направлений в сталеплавильном производстве, сопряженных с разработкой технологических вариантов процессов с элементами жидкофазного восстановления [1, 2] либо прямого легирования стали в плавильном агрегате или в ковше железо- и марганецсодержащими оксидными материалами [3], возрастает интерес к изучению термодинамики и кинетики реакций между жидкими оксидами и различными восстановителями. Особое место среди последних занимает твердый углерод, который к тому же является широко распространенным и доступным видом топлива. Эффективность одновременного использования твердого углерода (графита) в качестве топлива и восстановителя во многом предопределяется кинетическими возможностями реакций его неполного (до монооксида СО) и полного (с образованием диоксида СО<sub>2</sub>) сгорания. Особая роль твердого углерода обусловлена еще тем обстоятельством, что восстановление, например, металла из низшего оксида марганца MnO без участия углерода (только за счет монооксида последнего или водо-

рода) термодинамически вообще невозможно, а восстановление железа из его монооксида затруднено. Поэтому, для хотя бы частичного восстановления марганца и перевода его в металлический расплав, твердый углерод необходимо «сжигать» только до определенной степени, чтобы присутствие остатка обеспечило возможность восстановления термодинамически. Правда, практическое осуществление такого процесса требует специальной организации взаимодействия фаз [4].

Сугубо окислительный характер процессов в кислородном конвертере обусловил необходимость распределения окислительных и восстановительных процессов во времени и пространстве, предусмотрев в разрабатываемой технологии восстановительного и основного окислительного периодов.

Современное развитие теории и технологии конвертерной плавки открывает реальные перспективы решения сложных технологических и экологических задач, связанных с переработкой в конвертерах способом жидкофазного восстановления железо- и марганецсодержащего сырья, а также широкого спектра металлургических отходов [5, 6]. В этой связи особый интерес представляет изучение и разработка рациональных режимов продувки расплава с рассредоточенной присадкой в ходе плавки указанных материалов совместно с твердыми углеродсодержащими восстановителями. При этом чрезвычайно важно обеспечить и организовать спокойный ход продувки с контролируемым вспениванием шлака и отсутствием выбросов шлакометаллической эмульсии, направленные циркуляционные потоки в ванне для реализации объемного взаимодействия присаживаемых железо- и марганецсодержащих материалов с восстановителем, эффективное дожигание отходящих газов в полости конвертера и передачу тепла непосредственно расплаву с целью компенсации тепловых затрат на эндотермические реакции жидкофазного восстановления оксидов.

Общий термодинамический анализ многокомпонентной многофазной системы, на которую оказывается постоянное внешнее воздействие, значительно затрудняется и требует выделения и учета основных параметров, которые способны существенно отклонять систему от «глобального» равновесия и заметно изменить пути его достижения. В настоящей работе рассмотрели в качестве объекта исследования сложную систему металл–шлак–газ, соответствующую при производстве стали в кислородном конвертере составу фаз в агрегате, при этом стремились к анализу чисто физико-химических явлений. Однако необходимо отметить, что конечные цели процесса определяются технологическими функциями передела: удалением (окислением) примесей металла и максимальным восстановлением из шлака железа и марганца. Увязанная с этими функциями физическая картина взаимодействия фаз и компонентов сводится к следующему.

Струя окислительного газа, особенно технически чистого кислорода, в зоне воздействия на жидкий металл (чугун, сталь) образует в значительных количествах оксиды железа, переходящие в жидкую шлаковую фазу. В соответствии с данными работы [7] при больших удельных потоках кислорода

каждый компонент  $i$  металла (Fe, C, Si, P, Mn и др.) в зоне контакта с газовой фазой окисляется со скоростями, практически прямо пропорциональными молярной доле  $X_i$  компонента. Учитывая, что даже в начале процесса (в жидком чугуне)  $X_{\text{Fe}} \geq 0,8$ , приходим к выводу, что в зоне контакта окислительного газа с жидким металлом образуются преимущественно оксиды железа. В то же время химический анализ проб оксидной фазы по ходу операции как на высокотемпературной модели (лабораторный конвертер), так и в промышленном конвертере [8] показывает, что содержание оксидов железа в шлаковой фазе заметно ниже ожидаемого, особенно в периоды интенсивного окисления кремния (при больших его концентрациях в чугуне) и углерода. Это свидетельствует о значительном развитии восстановления железа из его оксидов, при этом в роли восстановителей в обычном классическом варианте кислородно-конвертерного передела выступают кремний, углерод и в определенных условиях даже фосфор.

В зависимости от природы восстановителя и от параметров состояния системы, а также от так называемых управляющих воздействий (внешних параметров) содержание оксидов железа в шлаковой фазе может меняться во времени по разным законам и в широких пределах. Как известно, текущее содержание оксидов железа в шлаке не только предопределяет развитие основных физико-химических процессов, но и формирует технико-экономические показатели передела.

Вторым компонентом шлаковой фазы, восстановлению металла из которого придается большое значение, является монооксид марганца. Как правило, марганец из высших оксидов даже в таком сугубо окислительном агрегате, как кислородный конвертер, восстанавливается не только кремнием, но и углеродом, растворенным в металле. Однако марганец из его низшего оксида в условиях кислородно-конвертерного процесса можно восстановить только кремнием, да и то при достаточно высоких концентрациях последнего. Тем не менее, учитывая отклонения состояния компонентов от стандартного, можно найти (подобрать) определенные условия для хотя бы частичного восстановления в металл марганца из его монооксидов в шлаке.

Поскольку процессы восстановления железа и марганца из их низших оксидов в одном агрегате идут одновременно при заданных параметрах состояния системы и под действием одних и тех же управляющих воздействий, то имеет смысл провести термодинамический анализ этих процессов совместно. При анализе допускаем отсутствие специальных форм управляющих воздействий, рассматривая только такие, как «шихтовка» (соотношение исходных материалов), высота расположения фурмы и интенсивность продувки. Под специальными формами управляющих воздействий имеем в виду следующие: предварительный нагрев шихтовых материалов или отдельных элементов агрегата (корпуса, фурмы, футеровки и т.д.), использование дополнительных или твердых восстановителей либо теплоносителей, присадку в ванну железо- и/или марганецсодержащих оксидных материалов и т.п.

Для решения поставленной задачи использовали один из современных методов математического моделирования – термодинамический анализ основных реакций жидкофазного восстановления элементов в системе жидкий металл–жидкий шлак–газ, который с большой эффективностью используется при разработке новых вариантов технологии и поиске новых альтернативных шихтовых материалов для производства стали, в том числе и кислородно-конвертерным способом.

При этом рассчитали для всех температур сталеплавильного производства основную термодинамическую функцию реакций восстановления –  $\Delta_r G_i^0$  – стандартное измерение энергии Гиббса.

Рассмотрели все оксиды Fe и Mn, устойчивые при этих температурах:  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ , FeO и  $MnO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$ , MnO. Потенциальные восстановители разбили на три естественные группы:

1. Традиционные восстановители: продукты неполного взаимодействия твердого углерода и природного газа с кислородом, т.е. CO и  $H_2$  и сам твердый углерод  $C_{гр}$ ;

2. Примеси жидкого чугуна: [C], [Si], [P] и даже [Fe] для Mn;

3. Элементы-раскислители:  $C_{гр}$ , Si, Mn, Al, Ca.

Такое выделение групп оказывается оправданным. Действительно, реакции с участием традиционных восстановителей хорошо изучены; элементы-раскислители обеспечивают практически полное восстановление оксидов Fe и Mn, даже наиболее трудновосстановимых – монооксидов FeO и MnO. А элементы-примеси чугуна могут обеспечить уникальную возможность совмещения, например, удаления вредной примеси (фосфора) и восстановления FeO.

Анализ термодинамических зависимостей  $\Delta_r G_i^0$  для реакций восстановления оксидов Fe и Mn компонентами трех групп восстановителей, полученных путем расчета по табличным данным, дает следующие выводы общего характера.

1. Из традиционных восстановителей (твердый углерод, монооксид углерода и водород) только твердый углерод способен к восстановлению монооксидов Fe и Mn до металлического состояния. При этом восстановление MnO возможно только при температурах  $T \geq 1670K$ .

2. Примеси чугуна, углерод, кремний и фосфор, растворенные в жидком металле, в чистом виде также обладают различной восстановительной способностью, в том числе и по отношению к FeO и MnO. Кремний теоретически способен к восстановлению не только FeO, но и более трудновосстановимого оксида – MnO. Что касается фосфора, восстановление с его помощью MnO невозможно, а FeO – возможно, но только при  $T \leq 1547 K$  (1274 °C). Железо теоретически способно к восстановлению всех оксидов марганца, кроме MnO.

3. Все растворимые в железе элементы-раскислители (Si, Ca, Al) способны восстанавливать оксиды Fe и Mn до металлического состояния.

4. Восстановление низших оксидов железа и марганца до металличе-

ского состояния по нетрадиционным реакциям твердым углеродом с образованием  $\text{CO}_2$ , возможно при температурах соответственно  $T \geq 963,5\text{K}$  (для  $\text{FeO}$ ) и  $T \geq 2401\text{K}$  (для  $\text{MnO}$ ).

Далее провели более детальный анализ термодинамических возможностей отдельного или совместного восстановления монооксидов  $\text{Fe}$  и  $\text{Mn}$ . При выборе наиболее предпочтительных восстановителей руководствовались следующими соображениями: естественная связь с технологическими особенностями ведения процесса; физико-химическая целесообразность осуществления соответствующих реакций и минимальные экономические и трудовые издержки.

Поэтому в первую очередь рассмотрели вторую группу восстановителей, примеси жидкого чугуна – углерод, кремний и фосфор, которые в сталеплавильном переделе подлежат окислить, удалить до определенных концентраций. В связи с чем весьма заманчивой и перспективной представляется задача максимально использовать эти «лишние», даже «вредные» примеси для восстановления  $\text{MnO}$  и  $\text{FeO}$ . Учли также, что практически во всем периоде выплавки и внепечного рафинирования стали в ванне присутствует железо (практически в стандартном состоянии) и в большей его части – монооксид углерода в значительных концентрациях в газовой фазе. И, конечно, в последнюю очередь в качестве восстановителей (особенно высших оксидов  $\text{Fe}$  и  $\text{Mn}$ ) следует рассматривать дорогие и дефицитные элементы-раскислители.

Рекомендации к технологии, основанные на анализе  $\Delta_r G_i^0 = f_i(T)$ .

Восстановление монооксидом углерода невозможно даже для  $\text{FeO}$ . Твердый углерод способен к восстановлению и  $\text{FeO}$  и  $\text{MnO}$  при  $T \geq T_7^* = 1673\text{K}$  ( $1400^\circ\text{C}$ ). Таким образом, при достижении ванный температуры  $1400^\circ\text{C}$  и более можно рекомендовать присадку оксидных железо- и марганецсодержащих материалов совместно с твердым углеродом.

Оказывается, что восстановление  $\text{FeO}$  возможно не только углеродом и кремнием ( $\Delta_r G_3^0 < 0$  и  $\Delta_r G_{24}^0 < 0$ ), но также и фосфором, по крайней мере, при температурах  $T \leq T_{31}^* = 1547\text{K}$  ( $1274^\circ\text{C}$ ). Таким образом, в начале сталеплавильного передела имеется теоретическая и уникальная возможность при обеспечении соответствующих кинетических условий восстановления  $\text{FeO}$  за счет удаления вредной примеси – фосфора, при температурах  $\sim 1100\dots 1400\text{K}$ . В интервале температур  $\sim 1200\dots 1300\text{K}$  вероятности восстановления  $\text{FeO}$  углеродом и фосфором, а  $\text{MnO}$  – кремнием близки между собой  $u_3$ ,  $u_{28}$ , и  $u_{31}$  мало отличаются друг от друга.

Поскольку высшие оксиды железа и марганца могут восстанавливаться продуктами конверсии природного газа, т.е. монооксидом углерода и водородом, то можно рекомендовать присадку определенного количества оксидных  $\text{Fe}$  и  $\text{Mn}$ -содержащих материалов в завалку с одновременной газокислородной продувкой с самого начала процесса с присадкой твердого углерода лишь при достижении ванный температур выше  $1400^\circ\text{C}$  ( $1670\text{K}$ ).

В связи с тем, что при всех температурах вероятность восстановления

FeO алюминием выше, чем кальцием, а для MnO – напротив вероятность восстановления кальцием выше, чем алюминием очевидно для более эффективного восстановления железа и раскисления металла алюминий следует присаживать в металл после Ca, а для получения марганецсодержащих сплавов – наоборот – кальцийсодержащие ферросплавы после алюминия.

В соответствии с выводами, следующими из результатов термодинамического моделирования, провели в условиях 160-т кислородных конвертеров ОАО «Запсибметкомбинат» промышленные испытания ресурсосберегающего варианта технологии кислородно-конвертерной выплавки стали с полной заменой металлолома в качестве охладителя операции на отходы производства, а именно на окалину прокатного производства. В результате проведения более 100 опытных плавов без ухудшения основных показателей процессов рафинирования металла были достигнуты существенное снижение расхода металлошихты на 61,2 кг/т стали) по сравнению с обычной технологией. При этом содержание серы на 1-й повалке составило 0,018 % (против 0,019 % – на обычных); фосфора 0,016 % (вместо 0,018 % на обычных). Заметно увеличивается выход годного (с 91,15 до 96,5 %). Таким образом, из 100 т стали более 5 т получали из отходов производства.

При реализации технологии жидкофазного восстановления одновременно железа и марганца (например, из железистого и марганцевого агломератов или других, в том числе и оксидных материалов, предполагается исходить из следующих соображений, основанных на анализе расчетов  $\Delta_r G_i^0$  при реакциях восстановления оксидов Fe и Mn упомянутыми выше восстановителями 3-х групп: 1) Высшие оксиды Fe и Mn восстанавливаются продуктами конверсии природного газа, т.е. CO и H<sub>2</sub>, по крайней мере при отношениях парциальных давлений компонентов в газе  $P_{CO} / P_{CO_2}$  и  $P_{H_2} / P_{H_2O}$  более 1 ( $\geq 1$ ); 2) Высшие оксиды марганца восстанавливаются до MnO жидким железом, которое присутствует в ванне как с самого начала периода плавки, так и при внепечном рафинировании стали; 3) Твердый углерод и дополнительное количество оксидных Fe и Mn – содержащих материалов следует присаживать в конвертер при достижении ванный температуры  $T \geq 1670$  К (1400 °С) для обеспечения восстановления MnO до металлического марганца.

#### Библиографический список

1. Талымбеков М.Ж. / М.Ж. Талымбеков, А.Б. Ахметов // В сб.тр. Современные проблемы электростали: Материалы XI Международной конференции. – Челябинск: изд. 70УрГУ, 2001. – С. 90 – 91.
2. Голован А.М. / А.М. Голован, Ю.Г. Дегтев, В.В. Курятников и др. // Физика горения и взрыва. – 1994. – № 1. – С. 20 – 30.
3. Нохрина О.И. / О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 10. – С. 49 – 52.
4. Айзатулов Р.С. / Р.С. Айзатулов, Е.В. Протопопов, К.М. Шакиров // Известия

- тия вузов. Черная металлургия. – 2001. – № 4. – С. 19 – 23.
5. Протопопов Е.В. / Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, Д.А. Лаврик, Е.Л. Мастеровенко // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. №6. – С.4 – 11.
6. Жибинова И.А. / И.А. Жибинова, К.М. Шакиров, Е.В. Протопопов / Известия вузов. Черная металлургия. – 2004. – № 8. – С. 11 – 13.
7. Баптизманский В.Н. Физико-химические основы кислородно-конвертерного процесса / В.Н. Баптизманский, В.Б. Охотский.. – Киев-Донецк: Высшая школа. – 1981. – 184 с.
8. Зарвин Е.Я. / Е.Я. Зарвин, М.И. Волович, Ю.Н. Борисов и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 1976. – № 6. – С. 50 – 52.

УДК 669.184:536.7

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В УСЛОВИЯХ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕССА С ВЕРХНЕЙ ПРОДУВКОЙ С УЧЕТОМ РАСТВОРИМОСТИ РЯДА КОМПОНЕНТОВ В ЖИДКОМ ЖЕЛЕЗЕ**

ШАКИРОВ М.К., ЖИБИНОВА И.А., ШАКИРОВ К.М., ПРОТОПОПОВ Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В работе [1] провели термодинамический анализ реакций восстановления оксидов железа и марганца с использованием табличных данных для случая взаимодействия чистых компонентов.

При этом рассчитали для всех температур сталеплавильного производства основную термодинамическую функцию реакций восстановления  $\Delta_r G_i^0$  – стандартное изменение энергии Гиббса. Рассмотрели все оксиды Fe и Mn, устойчивые при этих температурах: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, FeO и MnO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MnO. Потенциальные восстановители разбили на три естественные группы:

1) традиционные восстановители: продукты неполного взаимодействия твердого углерода и природного газа с кислородом, то есть CO и H<sub>2</sub> и сам твердый углерод C<sub>гр</sub>;

2) примеси жидкого чугуна: [C], [Si], [P] и даже [Fe] для Mn;

3) элементы – раскислители: C<sub>гр</sub>, Si, Mn, Al, Ca.

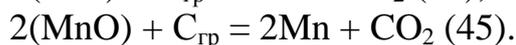
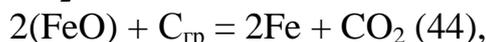
Такое выделение групп оказывается оправданным. Действительно, реакции с участием традиционных восстановителей хорошо изучены; элементы – раскислители обеспечивают практически полное восстановление оксидов Fe и Mn, даже наиболее трудновосстановимых – монооксидов – FeO и

MnO. А элементы – примеси чугуна могут обеспечить уникальную возможность совмещения, например, удаления «вредной» примеси (фосфора) и восстановления FeO.

В работе [1] рассмотрели все возможные реакции между семью оксидами Fe и Mn со всеми восстановителями последовательно с учетом соответствующих превращений последних:

1.  $(MeO) + C_{гр} = Me + \{CO\}$  (реакции 1...7);
2.  $(MeO) + \{CO\} = Me + \{CO_2\}$  (реакции 8...14);
3.  $(MeO) + \{H_2\} = Me + \{H_2O\}$  (реакции 15...21);
4.  $2(MeO) + Si = 2Me + (SiO_2)$  (реакции 22...28);
5.  $2,5(MeO) + P = 2,5Me + 1/4 \cdot P_4O_{10}$  (реакции 29...35);
6.  $(Mn_nO_m) + Fe = Mn + FeO$  (реакции 36...39);
7.  $(MeO) + Ca = Me + CaO$  (реакции 40, 41);
8.  $1,5(MeO) + Al = 1,5Me + 1/2 \cdot Al_2O_3$  (реакции 42 и 43).

Кроме этих 43 традиционных рассмотрели еще две нетрадиционные реакции восстановления монооксидов Fe и Mn углеродом с образованием не CO, а CO<sub>2</sub>:



В работе [1] как и в настоящем сообщении более детальному анализу подвергли реакции восстановления монооксидов (FeO и MnO) как наиболее трудновосстановимых оксидов Fe и Mn.

Рассчитанные в [1] по табличным данным значения  $\Delta_r G_i^0$ , как и в настоящем сообщении, обозначены через  $y_i$ , то есть принимается что  $y_i \equiv \Delta_r G_i^0$ .

Поскольку в действительности компоненты находятся в растворах, необходим учет процессов перехода основных компонентов из стандартного состояния в растворенное состояние. Для этого надо определить изменение энергии Гиббса при этих процессах.

Отметим, что основной компонент металлического расплава – железо – является по существу растворителем в разбавленном растворе. Поэтому для процесса (46) перехода железа из стандартного состояния в раствор:



изменение энергии Гиббса определяется соотношением:

$$y_{46} \equiv \Delta G_{46} = RT \ln x_{Fe}, \quad (47)$$

в котором изменение энергии Гиббса при процессе (46)  $\Delta G_{46}$  обозначено по аналогии с работой [1] через  $y_{46}$ ;  $x_{Fe}$  – молярная доля Fe в жидком металле; (как правило  $x_{Fe} \rightarrow 1$  в чугуне и, особенно, в стали).

Для элементов, потенциальных восстановителей ([C], [Si], [P], [Mn], [Ca], [Al]) и др., растворенных в жидком железе, в качестве стандартного принято выбирать состояние 1 %-ного разбавленного по данному компонен-

ту раствора.

И для процессов растворения элементов в жидком железе:



выражения для  $\Delta G$  заимствовали из источника [2], пересчитав данные [2] для  $\lg Kp_j = f_j(T)$  с помощью соотношения  $\Delta G_j = -2,3RT \lg Kp_j$ :

$$C_{гp} : y_{48} \equiv \Delta G_{48} = 22593,6 - 42,36T, \quad (54)$$

$$Si : y_{49} \equiv \Delta G_{49} = -131540 - 17,23T, \quad (55)$$

$$Mn : y_{50} \equiv \Delta G_{50} = -4078 - 38,29T, \quad (56)$$

$$P : y_{51} \equiv \Delta G_{51} = -122215 - 19,147T, \quad (57)$$

$$Ca : y_{51} \equiv \Delta G_{52} = -39462 + 49,38T, \quad (58)$$

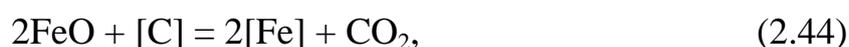
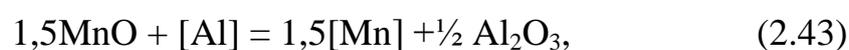
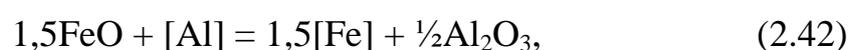
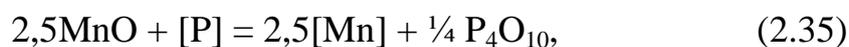
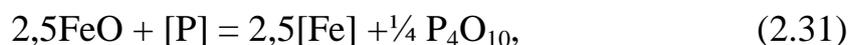
$$Al : y_{53} \equiv \Delta G_{53} = -63185 - 27,95T. \quad (59)$$

С учетом растворения элементов в жидком железе уравнения (1)...(45) реакций восстановления оксидов железа и марганца, приведенные в работе [1], принимают вид, в частности, при восстановлении растворенным в металле углеродом:



и далее для реакций восстановления только низших оксидов (FeO и MnO) различными восстановителями записали (сохранив порядок реакций, как в работе [1] и используя для них двойную нумерацию):





В отличие от реакций с участием чистых веществ (см. работу [1]) для реакций с участием растворенных в металле компонентов изменения энергии Гиббса в настоящем сообщении обозначили через  $z_i$ , то есть считали, что  $z_i \equiv \Delta G_i$ .

При этом изменение энергии Гиббса  $\Delta_r G_i \equiv z_i$  при реакциях (2.1)...(2.45) рассчитали с использованием закона Гесса по  $\Delta_r G_1 \dots \Delta_r G_{45}$  (таблица 1) и  $\Delta_r G_{46}$  и  $\Delta_r G_{47} \dots \Delta_r G_{53}$  (таблица 2) и уравнений (47) и (54)...(59) для процессов растворения (46) и (48)...(53). Так, например, поскольку реакция (2.1) есть алгебраическая сумма реакции (1) (из [1]) и процесса (48), то и:

$$z_1 \equiv \Delta_r G_{2.1} = \Delta_r G_1 (\equiv y_1) - \Delta_r G_{(48)} (\equiv \Delta_r G_{54}) = y_1 - y_{48} \quad (60)$$

и далее:

$$z_2 \equiv \Delta_r G_{2.2} = \Delta_r G_2 (\equiv y_2) - \Delta_r G_{48} = y_2 - y_{48}, \quad (61)$$

$$z_3 \equiv \Delta_r G_{2.3} = \Delta_r G_3 + \Delta G_{46} - \Delta G_{48} = y_3 + y_{46} - y_{48}, \quad (62)$$

$$z_4 \equiv \Delta_r G_{2.4} = \Delta_r G_4 - \Delta G_{48} = y_4 - y_{48}, \quad (63)$$

$$z_5 \equiv \Delta_r G_{2.5} = \Delta_r G_5 - \Delta G_{48} = y_5 - y_{48}, \quad (64)$$

$$z_6 \equiv \Delta_r G_{2.6} = \Delta_r G_6 - \Delta G_{48} = y_6 - y_{48}, \quad (65)$$

$$z_7 \equiv \Delta_r G_{2.7} = \Delta_r G_6 + \Delta G_{50} - \Delta G_{48} = y_7 + y_{50} - y_{48}, \quad (66)$$

затем для реакций с участием только FeO и MnO:

$$z_{10} = y_{10} + y_{46}, \quad (67)$$

$$z_{14} = y_{14} + y_{50}, \quad (68)$$

$$z_{17} = y_{17} + y_{46}, \quad (69)$$

$$z_{21} = y_{21} + y_{50}, \quad (70)$$

$$z_{24} = y_{24} + 2y_{46} - y_{49}, \quad (71)$$

$$z_{28} = y_{28} + 2y_{50} - y_{49}, \quad (72)$$

$$z_{31} = y_{31} + 2,5y_{46} - y_{51}, \quad (73)$$

$$z_{35} = y_{35} + 2,5y_{50} - y_{51}, \quad (74)$$

$$z_{39} = y_{39} - y_{48} + y_{50}, \quad (75)$$

$$z_{40} = y_{40} + y_{48} - y_{52}, \quad (76)$$

$$z_{41} = y_{41} + y_{50} - y_{52}, \quad (77)$$

$$z_{42} = y_{42} + 1,5y_{48} - y_{53}, \quad (78)$$

$$z_{43} = y_{43} + 1,5y_{50} - y_{53}, \quad (79)$$

$$z_{44} = y_{44} + 2y_{46} - y_{48}, \quad (80)$$

$$z_{45} = y_{45} + 2y_{50} - y_{48}, \quad (81)$$

Входящие в уравнения линейных зависимостей  $y_i = f_i(T)$  для реакций восстановления FeO и MnO:

$$y_i \equiv \Delta_r G_i^0 = A_i + B_i T, \quad (82)$$

коэффициенты  $A_i$  и  $B_i$ , рассчитанные в работе [1], приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты  $A_i$  и  $B_i$  в формуле (82) для различных реакций (заимствованы из работы [1])

Реакция и ( $y_i$ )	Коэффициенты	
	$A_i$	$B_i$
3 ( $y_3$ )	136821	- 142,19
7 ( $y_7$ )	282573	- 168,89
10 ( $y_{10}$ )	- 27348	28,57
14 ( $y_{14}$ )	118403	1,86
17 ( $y_{17}$ )	1717,3	1,14
21 ( $y_{21}$ )	147469	- 25,56
24 ( $y_{24}$ )	- 375956	66,94
28 ( $y_{28}$ )	-84452	13,528
31 ( $y_{31}$ )	- 156296	101,03
35 ( $y_{35}$ )	208084	34,257
39 ( $y_{39}$ )	145752	- 26,708
40 ( $y_{40}$ )	- 417052	72,348
41 ( $y_{41}$ )	- 271300	45,64
42 ( $y_{42}$ )	- 463183	77,282
43 ( $y_{43}$ )	- 244555	37,22
44 ( $y_{44}$ )	109473	- 113,62
45 ( $y_{45}$ )	400977	- 167,03

Таблица 2 – Значения коэффициентов  $a_i$  и  $b_i$  в уравнении (83) для процессов (46) и (48)...(53) растворения элементов в жидком железе [2] при  $x_{Fe} = 0,8$  (в уравнениях (47) и (54)...(59))

Процесс и уравнение	Коэффициенты	
	$a_i$	$b_i$
а ( $y_{48}$ )	0	- 1,86
б ( $y_{49}$ )	22594	- 42,31
в ( $y_{50}$ )	- 131540	- 17,23
г ( $y_{51}$ )	- 4078	- 38,29
д ( $y_{52}$ )	- 122215	- 19,15
е ( $y_{53}$ )	- 39462	49,38
ж ( $y_{54}$ )	- 63185	- 27,98

Коэффициенты  $a_i$  и  $b_i$  в линейных функциях

$$y_i = a_i + b_i T, \quad (83)$$

которая в обобщенной форме отражает зависимости  $\Delta G_i$  процессов (46) и (48)...(53) от температуры (уравнения [(48) и (54)...(59)] заимствованы из источника [2] и приведены в таблице 2. В  $y_{48}$  приняты  $x_{Fe} = 0,8$ .

С использованием полученных уравнений рассчитаны значения  $Z_i$  при различных  $T$ ; составлена таблица 3.

Проанализируем результаты расчетов  $\Delta_r G_i = f_i(T)$  для реакций восстановления FeO и MnO растворенными в жидком железе компонентами: по данным таблицы 3. С целью выявления возможного изменения относительной термодинамической вероятности протекания отдельных реакций в том или ином ряду (в ряду оксидов по степени окисленности металла или в ряду восстановителей по степени их восстановительной способности) по сравнению со случаем взаимодействия чистых компонентов.

Общий анализ данных таблицы 3 показывает, что, как и в случае взаимодействия между чистыми компонентами, вероятность восстановления 1 %-ным по углероду расплавом железа уменьшается от высших оксидов Fe и Mn к низшим.

Более того, сравнение относительного соотношения величин  $Z_i = f_i(T)$  в таблице 3 в настоящем сообщении и  $y_i = f_i(T)$  в таблице 3 работы [1] свидетельствует о их полной идентичности. Действительно, при всех рассмотренных температурах оказывается, что а)  $Y_4 < Y_5 < Y_1 < Y_6 < Y_2 < Y_3 < Y_7$  и б)  $Z_4 < Z_5 < Z_1 < Z_6 < Z_2 < Z_3 < Z_7$ .

Для выявления относительной восстановительной способности отдельных процессов с участием растворенных в жидком металле компонентов составили таблицу 4, расположив в ней превращения восстановителей в той же последовательности, что и в таблице 3 в работе [1]: [Al]  $\rightarrow$  AlO<sub>1,5</sub>; [Ca]  $\rightarrow$  CaO; [Si]  $\rightarrow$  SiO<sub>2</sub>; [C]  $\rightarrow$  CO; [C]  $\rightarrow$  CO<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>  $\rightarrow$  H<sub>2</sub>O; CO  $\rightarrow$  CO<sub>2</sub>; [P]  $\rightarrow$  PO<sub>2,5</sub>.

Таблица 3 – Результаты расчетов  $\Delta_r G_{2,i}^0 = z_i$  ( $i = 1 \dots 45$ ) при реакциях восстановления оксидов Fe и Mn различными восстановителями

x1	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z10
1000	-35805,4	57707	61291	-152957	-37479	-71997	133806,2	5662,66
1100	-53665,9	42356,9	50357,8	-167471	-84627,5	-72075,5	118189,5	8149,38
1200	-72028,5	27759,9	38922,4	-182068	-131860	-71610,1	102279,9	10343,22
1300	-89094,1	12577,1	27738,2	-197041	-142649	-89303,3	86621,3	12704,42
1400	-106913	-2731,14	16846,8	-211094	-155866	-106285	70837,3	15232,98
1500	-124690	-17370	5788	-221340	-168622	-122179	54885,8	17468,66
1600	-142466	-32008,8	-5270,8	-235770	-181796	-137236	37888,4	19704,34
1700	-158863	-50915,3	-14739,6	-248819	-195682	-152377	21016,5	23404,43
1800	-176472	-71035,2	-23748,2	-262662	-209526	-167476	4186,4	27439,23
1900	-197847	-89899,9	-33175,2	-276925	-222114	-183831	-12225,3	31055,63
2000	-229222	-103702	-42560,4	-290727	-235916	-198888	-29013,5	34630,19

Продолжение таблицы 3

x1	z14	z17	z21	z24	z28	z31	z35
1000	159083,4	8214,9	161636	-154933	-9902,8	224219,3	304375,4
1100	164161,6	7689,1	163701	-148979	-13315,4	236221,3	295575
1200	169156,2	6786,8	165600	-143443	-16728	247281,9	286356,2
1300	174318	6177,4	167791	-137907	-20140,6	258447,1	277242
1400	179228,9	5777,1	169773	-131953	-23971,6	270135,3	267604,8
1500	183846,8	5251,4	171630	-126417	-28221	281195,9	257340
1600	187418,8	4725,6	172440	-120881	-34562,4	292151,9	244355,6
1700	190990,8	5664,3	173251	-112416	-40903,8	306768,9	231371,2
1800	194479	7063,1	174103	-100186	-44316,4	322327,3	218282,2
1900	198385,7	8085,5	175416	-89210,4	-47310,6	336735,1	206134,6
2000	201832,2	9107,8	176310	-78653,7	-51560	351142,8	192941

Продолжение таблицы 3

x1	z39	z40	z41	z42	z43	z44	z45
1000	72515,2	-344634,4	-272119,2	-205359,4	-254960	63243,2	208273,7
1100	67831,7	-345995,3	-278163,6	-193211,2	-253239	54425,7	190089,1
1200	63357,5	-346937,9	-283580,4	-181899,8	-252041	44813,1	171528,1
1300	58883,2	-347671,2	-288788	-170065,3	-250320	35619	153385,4
1400	53990,5	-347776,9	-293786,4	-158126,3	-249123	26885,1	134866,1
1500	49097,8	-348510,2	-299412,4	-146501,1	-248239	17691	115886,7
1600	43159,1	-349243,5	-306084,4	-135085	-249133	8497	94815,18
1700	35756,1	-348512,5	-312756,4	-121263,2	-249818	2357,1	73869,22
1800	27934,6	-344434,2	-316499,6	-107023	-250712	-2987,8	52881,42
1900	20949,9	-335335,1	-314385,2	-93410,33	-250979	-9169,4	32730,42
2000	13546,8	-326236	-312689,2	-79797,69	-251873	-15351	11742,62

Таблица 4 – Изменение энергии Гиббса при  $\Delta_r G_i \equiv Y_i$  восстановлении FeO и MnO растворенными в металле восстановителями при разл. температурах (предварительные данные)

Т, К	Восстанавливаемый оксид	Превращения восстановителя $n MeO + [B] = n[Me] + BOn$							
		[Al] → AlO <sub>1,5</sub>	[Ca] → CaO	[Si] → SiO <sub>2</sub>	[C] → CO	[C] → CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	CO → CO <sub>2</sub>	[P] → PO <sub>2,5</sub>
		Z <sub>42</sub> ; Z <sub>43</sub>	Z <sub>40</sub> ; Z <sub>41</sub>	Z <sub>24</sub> ; Z <sub>28</sub>	Z <sub>3</sub> ; Z <sub>7</sub>	Z <sub>44</sub> ; Z <sub>45</sub>	Z <sub>17</sub> ; Z <sub>21</sub>	Z <sub>10</sub> ; Z <sub>14</sub>	Z <sub>31</sub> ; Z <sub>35</sub>
1200	FeO	②-181900	①-346938	③-143443	⑦38922	⑧44813	④6787	⑤10343	⑥247282
	MnO	②-252041	①-283580	③-16728	④102280	⑦171528	⑤165600	⑥169156	⑧286356
1600	FeO	②-135085	①-349244	③-120881	④-5271	⑥8497	⑤4726	⑦19704	⑧292152
	MnO	②-249133	①-306084	③-34562	④37888	⑤94815	⑥172440	⑦187419	⑧244356
2000	FeO	②-79798	①-326236	③-78654	④-42560	⑤-15351	⑥9108	⑦34630	⑧351143
	MnO	②-251873	①-312689	③-51560	④-29014	⑤11743	⑥176310	⑧201832	⑦192941
Сумма мест		12	6	18	27	36	32	40	45
Итоговое место по восстановительной способности		II	I	III	IV	VI	V	VI	VIII

Не трудно заметить, что, если первые 4 превращения действительно имеют наименьшие значения  $\Delta_r G_i$ , то, начиная с превращения  $[C] \rightarrow CO_2$  и до конца таблицы 4  $\Delta_r G_i$ , меняются незакономерно. Для выявления действительной последовательности в ряду превращений восстановителей применили метод баллов. Для этого при каждой выбранной температуре (1200, 1600, 2000K) для FeO и MnO (6 вариантов, 6 строк в таблице 4) установили места каждого превращения (числа, заключенные в кружочки, рядом со значением  $\Delta_r G_i$  в порядке увеличения  $\Delta_r G_i$ ). Затем для каждого превращения определяем сумму мест (предпоследняя строка табл. 4), по величине которой определили итоговое место данного превращения в ряду с уменьшением восстановительной способности компонентов и их превращений (последняя строка таблицы 4). Итак, с учетом процессов растворения элементов в жидком железе. Восстановительная способность по отношению к FeO и MnO в интервале 1200 – 2000 К растет в ряду превращений:  $[P] \rightarrow PO_{2,5}$ ;  $CO \rightarrow CO_2$ ;  $[C] \rightarrow CO_2$ ;  $H_2 \rightarrow H_2O$ ;  $[C] \rightarrow CO$ ;  $[Si] \rightarrow SiO_2$ ;  $[Al] \rightarrow AlO_{1,5}$ ;  $[Ca] \rightarrow CaO$ .

Сравнение данных таблицы 3 в работе [1] и таблицы 4 в данном сообщении выявляет следующие изменения.

При учете растворения элементов в жидком железе следует иметь в виду, что восстановительная способность кальция теоретически становится выше, чем у алюминия ( $Z_{40} \equiv \Delta_r G_{5,40} < Z_{42}$  и  $Z_{41} \equiv \Delta_r G_{3,41} < Z_{43}$ ). Также по восстановительной способности меняются местами процессы ( $C \rightarrow CO_2$ ) ( $H_2 \rightarrow H_2O$ ), так что при учете растворения реагентов в жидком металле восстановительная способность отдельных процессов определяется в соответствии с данными таблиц 3 и 4 данного сообщения.

#### Библиографический список

1. И.А. Жибинова. Термодинамический анализ реакций восстановления оксидов железа и марганца в условиях сталеплавильных процессов / И.А. Жибинова, К.М. Шакиров, Е.В. Протопопов, М.К. Шакиров // Известия вузов. Черная металлургия. – 2007. – № 4. – С. 3 – 20.
2. Попель С.И. Теория металлургических процессов / С.И. Попель, А.И. Сотников, В.Н. Бороненков. – М.: Металлургия. – 1986. – 462 с.

УДК 669.187

## ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ НИОБИЕМ СТАЛИ ДЛЯ СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

Носов Ю.Н., Фойгт Д.Б., Сидорова И.Н.

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»  
г. Новокузнецк*

С момента пуска в ноябре 2005 г. в ККЦ-2 ОАО «ЗСМК» двухручье-вой слябовой МНЛЗ разработана технология выплавки, ковшовой обработки,

непрерывной разливки и освоено производство непрерывнолитых слябов более чем 90 марок стали и их модификаций. Около 70 – 80 % разливаемой стали составляют низкокремнистые ( $\leq 0,03$  %), раскисленные алюминием (0,02 – 0,08 %) стали типа 08-20Ю, остальное – стали, раскисленные кремнием ( $\geq 0,15$  %) и алюминием (0,02 – 0,08 %). В мае-июне 2008 г. по заказу фирмы «Palini e Bertoli» (Италия) произведена опытно-промышленная партия и освоено производство стали нового класса – марки A572, микролегированной ниобием, следующего химического состава, %: 0,15 – 0,18 [C], 1,35 – 1,65 [Mn], 0,15 – 0,25 [Si], max 0,015 [S], max 0,015 [P], max 0,060 [Al], max 0,010 [N], 0,03 – 0,05 [Nb].

С учётом повышенной склонности стали A572 к горячему трещинообразованию (наличие ниобия, содержание углерода близкое к эвтектическому, повышенное содержание марганца) разработана технология выплавки, внепечной подготовки и разливки стали A572, которая имеет следующие особенности:

- рекомендовано содержание в готовой стали: углерода 0,16 – 0,18 %, алюминия – не более 0,03 %, ниобия – не более 0,04 %;

- перегрев стали перед вводом порошковой проволоки с феррониобием – не менее чем на 30 °С выше температуры выдачи на разливку;

- усреднительная донная продувка аргоном после ввода порошковой проволоки с феррониобием – не менее 5 мин;

- защита струи металла на участке «сталеразливочный–промежуточный ковши» – с помощью защитных труб с эластичными огнеупорными вставками и подачей аргона до 30 л/мин;

- увеличение конусности узких плит кристаллизатора с 0,9 до 1,0 %;

- рекомендуемый рабочий диапазон температуры стали в промежуточном ковше –  $T_{\text{ликв}} + (20 - 30 \text{ } ^\circ\text{C})$ ;

- снижение скорости литья на 0,05 м/мин в установленных интервалах температур стали в промежуточном ковше (ПК):

- увеличение частоты качания кристаллизатора на 10 мин<sup>-1</sup> (режим № 2);

- режим вторичного охлаждения слябов – «средний» (MedC\_10, Medium\_200, 250);

- коэффициенты линейной термической усадки слябов по ширине – 1,008, по длине – 1,015;

- складирование и охлаждение горячих слябов на адьюстаже – в стопах, их раскладка для осмотра – не ранее чем через 24 часа после конца разливки.

Производство непрерывнолитых слябов в ККЦ-2 осуществляется по технологической цепи конвертер–УВОС–АКП–МНЛЗ. Сталь выплавляется в 320-тонных конверторах. На выпуске металл раскисляют и легируют алюминием (чушковый или БРС), кремнием (ферросилиций, силикомарганец) и металлическим марганцем. Для наведения покровного шлака в ковше на вы-

пуске присаживают известь и плавиковый шпат. На установке внепечной обработки стали (УВОС) раскисляют шлак присадкой гранулированного алюминия. На агрегате ковш-печь (АКП) проводят раскисление и легирование стали алюминиевой катанкой, доводку по химическому составу присадкой ферросплавов в кусковом виде или в виде наполнителя порошковой проволоки, нагрев электрической дугой. Металл с требуемыми химическим составом и температурой передают в отделение НРС для разлива на слябовой МНЛЗ.

Всего в рамках опытно-промышленной партии по разработанной технологии выплавляли и разлили более 13,5 тыс. т (44 плавки) новой ниобийсодержащей среднеуглеродистой марганцовистой стали А572 в слябы сечением 250×1750 мм, в том числе в мае 3041,7 т (серия из 10 плавок) и в июне – 10519,2 т (серия из 34 плавок по 3 серий по промежуточному ковшу).

Предварительно в МТЦ ООО «РМЗ» (дочернее предприятие ОАО «ЗСМК») была изготовлена порошковая проволока диам. 14,5 мм с феррониобием марки FeNb65 (наполнение 754 г/м, коэффициент заполнения 81,6 %) следующего состава, %: Nb – 65,0, Si – 2,19, Al – 1,02, C – 0,82, S – 0,007, P – 0,135, остальное железо.

На всех плавках порошковую проволоку с феррониобием вводили после нагрева металла в середине обработки на АКП в раскисленную алюминием сталь (0,02 – 0,06 %). Порошковую проволоку с помощью трайбаппарата со скоростью до 5 м/с вводили в один, а на ряде плавок, в два приёма с промежуточным отбором пробы стали. После ввода проволоки металл перемешивали аргоном не менее 5 мин. Плавки выдавали на разливу с температурой 1563 – 1587 °С, в среднем 1573 °С. Результаты ввода порошковой проволоки с феррониобием приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты ввода порошковой проволоки с феррониобием

Значение	Расход порошковой проволоки			Расход, кг		Масса плавки, т	Концентрация ниобия, %		Усвоение ниобия, %	
	м	кг	кг/т	FeNb65	Nb		АКП	МНЛЗ	АКП	Сквозное
Мин	230,0	214,8	0,70	173,4	112,7	294,5	0,035	0,032	86,5	81,6
Макс	327,0	259,9	0,84	207,3	134,7	324,8	0,042	0,040	110,4	99,8
Среднее	270,2	228,7	0,74	183,8	119,5	308,2	0,038	0,036	98,1	93,1

Температурный и температурно-скоростной режимы разлива первой серии из 10 плавок стали А572 приведён в таблице 2.

Расход порошковой проволоки с феррониобием изменялся от 230 до 327 м (214,8 – 259,9 кг, или 0,70 – 0,84 кг/т) и в среднем на плавку составил 270,2 м (228,7 кг или 0,74 кг/т). Концентрация ниобия в стали после микролегирования составила: перед выдачей с АКП – 0,035 – 0,042 % (в среднем 0,038 %), в готовой стали – 0,032 – 0,040 % (в среднем 0,036 %).

Таблица 2 – Температурный и температурно-скоростной режимы разливки

Номер плавки	Температура вы- дачи на разли- ву, ( $T_{AKП}$ ), °С	$T_{ликв}$ , °С	$T_{ПК}$ , °С	Перегрев стали в ПК над $T_{ликв}$ , °С	$\frac{Mn}{S_M}$	Скорость разливки, м/мин
582827	1577	1515	$\frac{1545 \div 1550}{1548}$	$\frac{30 \div 35}{33}$	466	$\frac{0,85 \div 0,90}{0,89}$
582828	1568	1512	$\frac{1534 \div 1542}{1538}$	$\frac{22 \div 30}{26}$	470	$\frac{0,90 \div 0,95}{0,94}$
483007	1564	1513	$\frac{1539 \div 1544}{1542}$	$\frac{26 \div 31}{29}$	157	$\frac{0,90 \div 0,95}{0,93}$
483009	1574	1513	$\frac{1536 \div 1548}{1543}$	$\frac{23 \div 35}{30}$	103	$\frac{0,90 \div 0,95}{0,93}$
483010	1565	1511	$\frac{1527 \div 1539}{1532}$	$\frac{16 \div 28}{22}$	138	$\frac{0,90 \div 1,00}{0,96}$
582831	1563	1512	$\frac{1534 \div 1539}{1537}$	$\frac{22 \div 27}{26}$	123	$\frac{0,90 \div 0,95}{0,92}$
483012	1553	1513	$\frac{1529 \div 1537}{1531}$	$\frac{16 \div 24}{19}$	105	$\frac{0,95 \div 1,10}{0,98}$
582833	1570	1513	$\frac{1537 \div 1538}{1537}$	$\frac{24 \div 25}{25}$	141	$\frac{0,90 \div 0,95}{0,92}$
582834	1564	1510	$\frac{1536 \div 1538}{1537}$	$\frac{26 \div 28}{28}$	236	$\frac{0,85 \div 0,95}{0,89}$
483014	1564	1514	$\frac{1531 \div 1541}{1535}$	$\frac{17 \div 27}{21}$	146	$\frac{0,80 \div 1,10}{0,98}$
Примечание. В числителе – пределы изменения, в знаменателе – средние значения.						

В условиях хорошо раскисленного металла (0,02 – 0,06 % алюминия) усвоение ниобия из проволоки независимо от окисленности шлака ( $FeO_{увос} = 0,86 - 11,50$  %, в среднем 3,68 %;  $FeO_{AKП} = 0,59 - 4,40$  %, в среднем 1,36 %) характеризовалось стабильностью и высокими значениями: на АКП – 98,1 % (от 86,5 до 110,4 %), сквозное – 93,1 % (от 81,6 до 99,8 %). На ввод в металл 0,01 % ниобия в среднем расходуется 75 м порошковой проволоки, 51,1 кг феррониобия или 33,2 кг ниобия.

Результаты опытных плавов – химический состав стали на АКП и МНЛЗ (маркировочная проба из промежуточного ковша) приведён в таблице 3.

Химический состав готовой стали А572 всех разлитых плавов соответствовал требованиям заказа. Отношение Mn/S изменялось в пределах 72 – 470 при среднем значении 157. Более 80 % плавов получено с концентрацией азота 0,006 % и более, в том числе 20 % плавов с азотом 0,008 % и более. При этом 77 % плавов выдавались с АКП на МНЛЗ с концентрацией азота 0,005 % и более, в том числе 32 % плавов – 0,006 % и более. Прирост азота на разливке составил 0 – 0,0047 %, в среднем 0,0018 %. В целом отрицатель-

ного влияния отклонений химического состава от рекомендуемых значений на технологию разлива и качество готового металла выявлено не было.

Таблица 3 – Химический состав стали А572 на АКП и МНЛЗ

Место отбора пробы	Химический состав стали, %			
	C	Si	Mn	S
АКП	$\frac{0,136 \div 0,203}{0,164}$	$\frac{0,105 \div 0,260}{0,205}$	$\frac{1,35 \div 1,53}{1,44}$	$\frac{0,002 \div 0,018}{0,0096}$
Марк.	$\frac{0,150 \div 0,179}{0,163}$	$\frac{0,180 \div 0,250}{0,207}$	$\frac{1,35 \div 1,53}{1,42}$	$\frac{0,003 \div 0,019}{0,0099}$

Примечание. В числителе – пределы изменения, в знаменателе – средние значения

Продолжение таблицы 3

Место отбора пробы	Химический состав стали, %			
	P	Nb	Al <sub>общ</sub>	N
АКП	$\frac{0,008 \div 0,020}{0,012}$	$\frac{0,035 \div 0,042}{0,038}$	$\frac{0,013 \div 0,061}{0,031}$	$\frac{0,0037 \div 0,0078}{0,0057}$
Марк.	$\frac{0,007 \div 0,018}{0,012}$	$\frac{0,032 \div 0,040}{0,036}$	$\frac{0,012 \div 0,048}{0,027}$	$\frac{0,0051 \div 0,0098}{0,0073}$

Результаты макроконтроля технологических проб от слябов 1-3, 2-3 плавки № 483009 показали, что все виды дефектов не превышают 3 балла по классификатору SMS-Demag (таблица 4).

Разработанная и освоенная технология производства микролегированной ниобием марганцовистой среднеуглеродистой стали марки А572 позволила получить на слябовой МНЛЗ ККЦ-2 ОАО «ЗСМК» продукцию в соответствии с требованиями заказчика и расширить марочный сортамент плоской непрерывнолитой продукции комбината.

Таблица 4 – Макроструктура слябов (250×1750 мм) стали А572

Но-мер ручья	Но-мер сляба	Включения			Трещины				
		осевая ликви-ция	алю-ми-наты	то-чеч-ные	уг-ло-вые	на узкой стороне	попереч-ный обра-зец	продоль-ный обра-зец	гнездо-образ-ные
1	3	3	1	2	3	2	2	2	3
2	3	3	1	2	2	3	2	2	3

В дальнейшем производство непрерывнолитых слябов аналогичного марочного сортамента подтвердило правильность разработанной технологии и на настоящее время разлито более 27 тыс. т такой стали.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ И СТРУКТУРЫ ОКАЛИНЫ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Э30ХГ2САФМ

ТЕМЛЯНЦЕВ М.В., ОЛЕНДАРЕНКО О.Д.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

На предприятиях, производящих прокатную продукцию, ведутся исследования сталей нового поколения – бейнитного класса. Представителем этого класса сталей является полученная по применяемой на ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» технологии сталь Э30ХГ2САФМ. Состав этой стали следующий 0,33 % С, 1,45 % Мn, 1,17 % Si, 1,04 % Cr, 0,27 % Мо, 0,14 % V. Одной из важнейших характеристик, влияющих на угар стали при нагреве под прокатку является температура плавления окалины, образующейся на поверхности металла.

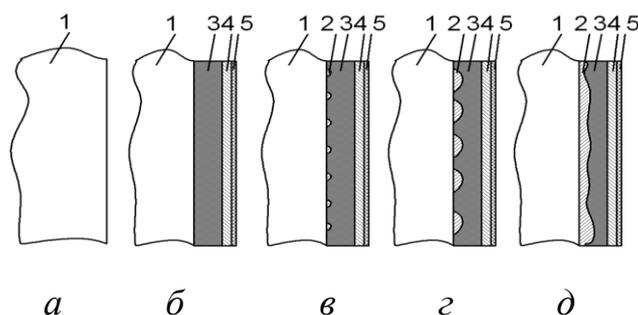
В настоящем исследовании определяли температуру плавления окалины, образующейся при нагреве рельсовой стали Э30ХГ2САФМ.

Для эксперимента изготовили образцы 3×3×5 мм, которые нагревали в электрической печи с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха.

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что окалина, образующаяся на стали Э30ХГ2САФМ имеет выраженное слоистое строение, причем слой окалины, контактирующий с поверхностью металла обогащен продуктами окисления легирующих элементов и имеет пониженную температуру плавления, по сравнению с расположенными выше слоями вюстита, магнетита и гематита. Формирование окалины и ее оплавление происходят следующим образом. В процессе высокотемпературного нагрева на поверхности стали (рисунок 1, а) образуется трехслойная окалина (рисунок 1, б). Далее по мере увеличения температуры образца в слое, контактирующем со сталью возникают локальные жидкофазные микроучастки (рисунок 1, в). Последующий рост температуры приводит к увеличению доли жидкой фазы, слиянию и укрупнению локальных жидкофазных участков (рисунок 1, г). Наконец наступает момент (рисунок 1, д), когда образуется почти сплошная жидкая прослойка между относительно тугоплавкими слоями гематита, магнетита и сталью.

Специфичность динамики явления оплавления окалины необходимо учитывать при экспериментальном установлении температур ее плавления. В частности, при проведении серии экспериментов на основе визуального определения начала подплавления окалины отмечено, что при увеличении скорости нагрева образца появление жидкой фазы на его поверхности наступает при меньших температурах. В частности, на рисунке 2 представлены

данные по зависимости температуры плавления окалины  $t_{пл}$  от времени  $\tau_n$  нагрева.



1 – сталь; 2 – легкоплавкие продукты окисления легирующих элементов стали (жидкая фаза); 3 – вюстит; 4 – магнетит; 5 – гематит

Рисунок 1 – Схема строения слоев окалины

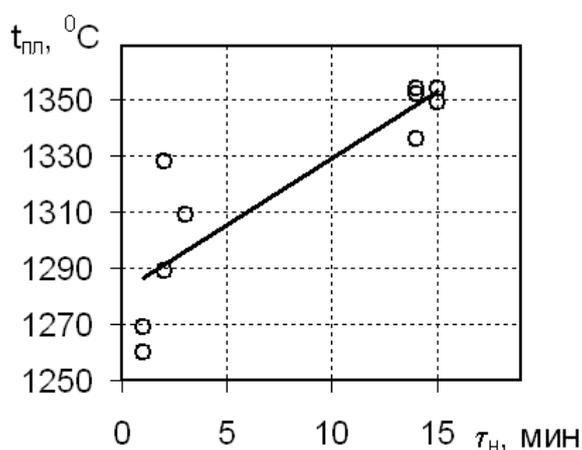


Рисунок 2 – Зависимость температуры плавления окалины от времени нагрева

Этот эффект связан с тем, что при увеличении времени нагрева толщина тугоплавких слоев гематита и магнетита увеличивается, стальной образец покрывается достаточно прочной «коркой» с температурой плавления 1583 – 1597 °С, которая препятствует визуальной идентификации начала появления жидкой фазы. Рост скорости нагрева приводит к уменьшению толщины и прочности такой «корки» визуальное определение начала появления жидкой фазы при этом происходит при более низких температурах.

Для окалины, образующейся на стали Э30ХГ2САФМ появление первых жидкофазных участков происходит при температурах 1256 – 1269 °С, а оплавление окалины, сопровождающееся ее стеканием с поверхности металла начинается при температурах 1336 – 1349 °С.

Полученные результаты хорошо согласуются с ранее проведенными исследованиями температур плавления окалины сталей с повышенным содержанием кремния марок 60С2, 10ХСНД и 30ХГСА.

## ВАРИАНТ УТИЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОКОРДА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОКРЫШЕК

СЫСОЕВ Н.П., ЛЕВИН И.Ю., ЛЁКИН В.П., ГИБАДУЛИН Р.Х.

*МГТУ им. Г.И. Носова, ОАО «ММК»  
г. Магнитогорск*

Проведены опытные спекания агломерата с использованием автомобильного металлокорда (очищенного от резины) взамен концентрата ССГПО.

Спекание аглошихты проводили в полупромышленной чаше РИС ЦЛК ОАО «ММК» диаметром 430 мм, оборудованной эксгаустером со следующими характеристиками:

– скорость вращения ротора, об./мин	2900;
– разрежение на всасе, кПа	16;
– производительность, м <sup>3</sup> /мин	100.

Удовлетворительную воспроизводимость результатов спеканий обеспечивали постоянством от опыта к опыту гранулометрического состава всех компонентов шихты, условий смешивания и окомкования шихты, загрузки её в чашу и зажигания.

В ходе исследований отбирали пробы шихты для определения насыпной плотности, влажности, гранулометрического и химического составов, а также газопроницаемости.

Агглоспек спустя 10 мин после выгрузки из чаши разбивали стальной плитой диаметром 400 мм и массой 24,5 кг, сбрасываемой в горизонтальном положении на поверхность спека с высоты 1 м. По истечении 20 мин после разрушения агглоспека, последний рассеивали с помощью виброгрохота и вручную на ситах с размером ячеек 40, 25, 15, 10, 8 и 5 мм. Прочность агломерата оценивали по ГОСТ 15137-77.

Составы аглошихт и технологию спекания подбирали исходя из условий поставки железорудного сырья и обстановки, сложившихся на ОАО «ММК» на период декабря 2007 года. Результаты спеканий представлены в таблице 1.

В варианте 1 использовался исходный корд, в котором длина проволоки достигала 130 – 150 мм, и это приводило к тому, что при перемешивании сухой аглошихты и при её окомковании весь введенный металлокорд стремился скрутиться в один ком. Поэтому приходилось разрушать ком и распределять металлокорд равномерно по шихте. В условиях производства неизмельченный металлокорд будет слёживаться и спрессовываться в бункерах, что приведёт к усложнению его выдачи и дозированию.

Таблица 1 – Результаты спеканий агломерата с использованием металлокорда

Показатели	Исходная шихта	Вариант 1	Вариант 2 (отсеянный корд)	Вариант 3 (отсеянный корд)
Содержание в рудной смеси, %:				
– концентратов	69,87	64,57	64,57	56,57
– металлокорда	0	5,3	5,3	13,3
– аглоруд	16,98	16,98	16,98	16,98
– отходов	9,98	9,98	9,98	9,98
– извести	3,16	3,16	3,16	3,16
Содержание в шихте, %:				
– кокса	4,25	4,25	4,25	4,25
– возврата	30	30	30	30
– известняка	7,9	7,9	7,9	7,9
Высота слоя шихты, мм	260	260	260	260
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	15,25	19,51	16,19	21,09
Выход годного, %	86,9	84,9	86,1	88,6
Удельная производительность (по классу + 5 мм),	1,355	1,576	1,384	1,596
Содержание класса 5-0 мм, %	13,1	15,1	13,9	11,4
Барabanная проба по ГОСТ 15137-77, %:				
– на удар (+ 5 мм)	69,2	68,3	69,7	74,7
– на истирание (-0,5 мм)	4,3	4,7	4,5	4,9
Агломерационная шихта:				
– влажность, %	6,90	6,29	7,70	6,72
– класс 3-0 мм, %	35,88	46,35	44,59	35,13
– сопротивление слоя, мм водного столба	138	80	120	110
Химический состав агломерата, %:				
– Fe	55,7	56,0	56,2	57,2
– FeO	15,3	18,6	20,6	27,7
– Feмет.	-	<1,0	<1,0	<1,0
– CaO	10,97	10,97	10,97	10,97
– SiO <sub>2</sub>	5,78	5,78	5,78	5,78
– MgO	1,95	1,95	1,95	1,95
– Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,63	1,63	1,63	1,63
– S	0,035	0,035	0,035	0,035
– P	0,029	0,029	0,029	0,029
Основность, ед.	1,90	1,90	1,90	1,90

После отсева крупных частиц металлокорда для спеканий использовался корд крупностью менее 10 мм. Это мероприятие позволило улучшить окомкование шихты: при перемешивании сухой шихты комки из корда почти не образуются, а при окомковании корд совместно с аглошихтой образуют шарики диаметром 50 – 70 мм (редко до 100 – 120 мм). Готовый агломерат характеризуется большим количеством крупных пор (даже дыр), по-видимому в местах нахождения шариков из корда и шихты.

При использовании отсеянного корда в количестве 2 кг или 5,3 % в железорудной части шихты (вариант 2) достигаются лучшие показатели процесса спекания и качества агломерата по сравнению с исходной шихтой и спеканию с кордом без отсева. Увеличение количества корда до 5 кг или 13,3 % в железорудной части шихты (вариант 3) оказывает положительное влияние на все показатели аглопроцесса.

Необходимо отметить, что наиболее предпочтительной является крупность металлокорда менее 5 мм.

УДК 669.168

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАРГАНЦЕВОГО КОНЦЕНТРАТА В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Прошунин И.Е., Нохрина О.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Использование марганецсодержащего сырья для прямого легирования стали привлекает внимание специалистов разных стран на протяжении, по крайней мере, трех десятков лет.

Исходя из опубликованных материалов наиболее крупное промышленное внедрение прямого легирования стали с использованием марганецсодержащих оксидных материалов (ковшевой вариант) было проведено на комбинате «Азовсталь» с 1979 по 1986 год. За это время по технологии прямого легирования на комбинате выплавлено более 1,5 млн. т стали. В качестве марганецсодержащего материала использовали руду с содержанием Mn 41,5 %. Извлечение марганца составило 70 – 95 %.

Технология прямого легирования стали марганцем опробована также в конвертерных цехах Череповецкого, Новолипецкого, Западно-Сибирского, Днепропетровского, Мариупольского, Карагандинского металлургических комбинатов.

Как показала практика прямого легирования стали марганцем на различных металлургических предприятиях, оценку качества готового металла целесообразно проводить только в случае использования нового оксидного марганецсодержащего материала. Это обусловлено тем, что показатели ка-

чества готовой продукции при прямом легировании марганцем на различных предприятиях оказались идентичными.

Соответствующие обширные исследования качества готового проката показали, что новый материал не ухудшает качественные характеристики ни по одному из исследуемых показателей.

Технология прямого легирования тем эффективней, чем выше содержание марганца в применяемом материале.

Использование бедных марганцевых руд позволяет повысить остаточное содержание марганца в металле перед выпуском из конвертера с целью экономии ферросплавов. При этом в большей мере сказывается присутствие значительного количества пустой породы и вредных примесей. Не улучшают показатели использования подобных материалов наличие высокоокисленного шлака и напряженный тепловой баланс плавки.

Учитывая то, что в настоящее время в России нет ни одного действующего предприятия по добыче и обогащению марганцевых руд рассматривали варианты использования перспективных источников сырья.

Из железомарганцевых конкреций получен концентрат с содержанием до 64 % марганца и фосфора – следы [1, 2]. Извлечение марганца в концентрат достигает 90 – 99 %. При этом возможно использование других ценных компонентов (кобальта, никеля и меди) в виде отдельных концентратов. Необходимость подготовки полученного, марганцевого концентрата определила наиболее простой вариант – использование в составе брикетов в присутствии восстановителя [3].

Полнота протекания реакции в брикете зависит от величины поверхности контакта исходных веществ – крупности материалов и концентрации в них основных элементов, температуры, скорости отделиения продуктов реакции – образования легкоплавкого при данной температуре и жидкоподвижного шлака. В лабораторных условиях изучено влияния различных факторов на процесс металлотермического восстановления марганца кремнием.

В качестве восстановителя использовали как стандартный силикомарганец, так и нестандартные сплавы с различным содержанием кремния. В процессе исследования прошел испытание марганцевый концентрат химического обогащения, которому, для сравнения, предшествовали опыты с марганцевыми рудами. В качестве флюса использовали известь, доломит, плавленый шпат, соду.

Использование в качестве восстановителя сплава, содержащего помимо кремния алюминий, позволяет улучшить показатели процесса восстановления марганца. При совместном восстановлении алюминием и кремнием образуются тугоплавкие оксиды  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  офлюсовывающие друг друга, что повышает скорость реакции в брикетах, способствует более полному восстановлению ведущего элемента и уменьшает расход флюсов для ошлаковывания продуктов реакции. Высокой скорости процесса содействует наличие в шлаке глинозема, содержание которого в нем на уровне 15 – 20 % способствует хорошему разделению металла и шлака.

Соотношение между расходом обожженного концентрата и расходом восстановителя в брикетах должно составлять  $(0,7-0,8)/1,0$ . При таком соотношении между компонентами брикета извлечение марганца в металл, образующийся в брикете составляет 90 – 95 %, а из концентрата, входящего в брикет, 85 – 90 %. Содержание марганца в шлаке, образующемся в брикете, при остаточном содержании кремния в каплях металла 15 – 20 % снижается до 7 – 10 % и ниже, а кратность шлака после завершения процессов в брикете составляет лишь 0,7 – 0,75 вместо 2 – 2,5 при обычной плавке малоуглеродистого ферромарганца.

Взаимодействие между компонентами брикета происходит на границах соприкасающихся частиц. Поэтому повышенный расход марганцевого концентрата приводит к тому, что часть его находится в брикете вне соприкосновения с частицами восстановителя, оксиды марганца, содержащиеся в нем, полностью переходят в шлак.

Опытным путем установлено, что кремний является хорошим восстановителем для оксидов марганца лишь при его содержании в металле не ниже 5 – 6 %.

Представляет интерес применение в составе брикетов продукта совместного обжига марганцевого концентрата с известью или доломитом. Результаты рентгенофазового анализа продуктов обжига марганцевого концентрата химического обогащения с различным содержанием извести показали, что при содержании 20 % оксида кальция и температурах 680 – 1000 °С образуется марокит ( $\text{CaMn}_2\text{O}_4$ ). В процессе обжига концентрата и доломита также образуется соединение типа марокит. Марганец, представленный в виде такого соединения, извлекается полнее за счет ускорения шлакообразования и отвода продуктов реакции из зоны взаимодействия оксидов марганца с восстановителем.

Для опытов по легированию стали брикеты задавали в ковш перед сливом в него металла из индукционной или дуговой электропечи. Результаты легирования стали брикетами, содержащими марганцевый концентрат химического обогащения, приведены в таблице 1.

Наилучшие показатели были получены при работе с брикетами, содержащими доломит. При его содержании в брикете равном 16,4 % и оптимальном соотношении концентрат/сплав АМС концентрация марганца в стали в процессе легирования возросла с 0,36 % до 1,71 %. Извлечение марганца в сталь здесь составило: из брикета – 96,6 %, а из концентрата – 92,3 %.

Если марганцевый концентрат вводить в металл в виде брикетов, состоящих из марганцевого концентрата и восстановителя, содержащего кремний и алюминий в виде выплавленного из бедной марганцевой руды сплава АМС, то брикеты становятся экзотермическими, растворяются быстро, температуру металла не снижают, металл хорошо усредняется. Это позволяет вводить такие брикеты в ковш.

Разработанная технология подготовки брикетов позволяет иметь степень восстановления марганца из оксидных материалов более 90 % и вести

плавку стали практически без отходов марганца.

Таблица 1 – Результаты легирования стали экзотермическими брикетами

Показатели	Результаты					
	1	2	3	4	5	6
Состав сплава, %: – Mn	37,20	37,20	50,93	50,93	50,93	50,93
– Si	32,23	32,23	32,47	32,47	32,47	32,47
– Al	0,63	0,63	6,15	6,15	6,15	6,15
Состав брикетов*, %						
– марганцевый концентрат**	34,80	34,80	36,20	36,20	38,90	34,40
– сплав	49,80	49,80	54,30	54,30	55,60	49,20
– доломит***	15,40	15,40	-	-	5,50	16,40
– плавиковый шпат	-	-	5,40	5,40	-	-
– сода	-	-	4,10	4,10	-	-
Вес слитка, кг	29,40	29,40	8,65	8,34	8,65	9,77
Расход брикетов, г	302,00	302,00	278,00	278,00	270,00	305,00
Содержание Mn в стали, %						
– до легирования	0,14	0,14	0,20	0,34	0,25	0,36
– после легирования	0,43	0,43	1,66	1,88	1,57	1,71
Извлечение Mn в сталь, %						
– из брикетов	73,40	73,50	93,10	94,60	84,60	96,60
– из концентрата	48,70	48,90	84,30	87,70	78,40	92,30
* – состав брикета приводится без учета связующего.						
** – 57,37 % Mn; 57,66 % MnO <sub>2</sub> ; в опытах 3, 4 – 62,70 % Mn; 42,23 % MnO <sub>2</sub> ;						
*** – 45,21 % CaO; 28,90 % MgO; 2,97 % SiO <sub>2</sub> .						

#### Библиографический список

1. А.с. 1443432 СССР Способ переработки марганцевого сырья / Толстогузов Н.В., Прошунин И.Е., Селиванов И.А.
2. Толстогузов Н.В., Нохрина О.И., Гуменный В.Ф., Прошунин И.Е.. Разработка малоотходной технологии переработки железомарганцевых конкреций и бедных марганцевых руд / Сталь. – 1995. – № 7. – С. 37 – 40.
3. А.с.1423604 СССР Экзотермический брикет / Толстогузов Н.В., Селиванов И.А., Прошунин И.Е., Соловьев М.А.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ И НЕСТАЦИОНАРНОЙ ПРОДУВКИ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ОАО «ЗСМК» (СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ)

Лубяной Д.А., Фойгт Д.Б., Фирсов В.А.

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»  
г. Новокузнецк*

На ОАО «ЗСМК» с 1991 по 2008 гг. проводились работы по совершенствованию технологии и повышению качества металла с использованием термовременной и внепечной обработки железоуглеродистых расплавов.

Термовременная обработка железоуглеродистого расплава была внедрена в период 1991 – 2004 гг. в условиях литейного цеха ОАО «ЗСМК» на индукционных печах ИЧТ-10М. Она заключалась в нагреве расплава чугуна и проведении изотермической выдержки с целью получения однородного расплава. Проведенные исследования с использованием высокотемпературного микроскопа «Leitz» [1] с применением методик, разработанных в Уральском политехническом институте (УПИ) [2], позволили определить оптимальные режимы для термовременной обработки для различных классов чугуна (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры термовременной обработки чугуна на ОАО «ЗСМК»

Агрегат, предприятие	Чугуны, вид продукции	Температура перегрева, °С	Время вы- держки, мин
Индукционная печь ИЧТ-10М, ОАО «ЗСМК»	Термостойкий чугун (поддоны, кузнечные изложницы, крышки промежуточных ковшей МНЛЗ, изложницы для производства ферросплавов)	1485...1520	8...10
	Износостойкий чугун для валков	1530...1550	10...15
	Шихтовая заготовка для высокопрочного чугуна.	1510	10
	Белый износостойкий чугун	1520...1550	10...15

Данные режимы нашли широкое распространение и на других предприятиях Кузбасса [3].

Применение разработанных режимов термовременной обработки позволило повысить качество и снизить себестоимость продукции. Так, например, был сокращен расход ферросплавов, повышена эксплуатационная стой-

кость сменного сталеразливочного оборудования из чугуна индукционной плавки [4], эксплуатационная стойкость поддонов сквозных изложниц, стойкость изложниц для кузнечных слитков. В настоящее время весь чугун, производимый для нужд комбината, производится с термовременной обработкой.

Кроме того, в потоке параллельно с термовременной обработкой расплава чугуна осуществляется деазотация расплава кислыми шлаками. Данная технология разработана совместно со специалистами Сибирского металлургического института (СМИ) [5].

Опробована также и технология десульфурации чугуна [6].

Для дальнейшего повышения качества продукции, снижения ее себестоимости на комбинате предложена и реализована технология внепечной обработки расплава азотом или аргоном методом резонансно-пульсирующего рафинирования фурмами с газодинамическими пульсаторами [7]. Сущность такого рафинирования заключается в наложении на металл колебаний путем пульсирующего дутья, в спектре которого имеется низкочастотная составляющая, совпадающая с собственной частотой колебаний металла в ковше.

При выборе оптимальной частоты пульсаций фурмы для продувки чугуна азотом в промышленном ковше применили математическое моделирование. Интенсификация процесса перемешивания значительно увеличивается при наложении низкочастотных колебаний на металл путем подачи пульсирующего дутья, в спектре колебаний которого имеется низкочастотная составляющая, совпадающая с собственной частотой колебаний жидкости. Собственную частоту колебаний жидкости в цилиндре (ковше) высотой  $h$  радиусом горизонтального основания  $r$  определяли по формуле [8]:

$$\omega_{mn}^2 = g \alpha_{mn} th(\alpha_{mn} h), c^{-1} \quad (1)$$

или

$$(\omega_{mn})^2 = \omega_{mn}^2 \cdot r / g = \eta_{mn} th(\eta_{mn} \cdot h / r), \quad (2)$$

где  $\omega_{mn} = 2\pi f_{mn}$  – циклическая частота собственных колебаний,  $c^{-1}$ ;

$\eta_{mn} = \alpha_{mn} r$  – корни первой производной функции Бесселя;

$\alpha_{mn}$  – собственные числа задачи о главных колебаниях жидкости;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$th(\alpha_{mn} h) = th x = e^x - e^{-x} / e^x + e^{-x}$  – гиперболический тангенс аргумента.

Тогда

$$f_{mn} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{2}{D} g \eta_{mn} th\left(\frac{2 \cdot \eta_{mn} \cdot h}{D}\right) \right)^{1/2}, \quad (3)$$

где  $D$  – внутренний диаметр ковша, м.

После определения собственной частоты колебаний металла в ковше

разработали конструкцию дутьевого устройства [9], генерирующего низкочастотную составляющую. В качестве источника колебаний использовали газодинамические пульсаторы. Сущность их работы состоит в следующем: в потоке газа находится плохо обтекаемое тело, за ним образуется вихревой след, причем вихри сбегают с определенной периодичностью, зависящей от формы и размеров конструкции, а также от скорости потока. Так, при обтекании цилиндра образуется вихревая дорожка Кармана. Направление вихрей попеременно меняется, угловая частота отделения вихрей определяется по формуле [1]:

$$w = \frac{0,22v}{2\pi K}, \quad (4)$$

где  $v$  – скорость потока, м/с;

$K$  – диаметр цилиндрического пульсатора в фурме;

0,22 – число Струхала для цилиндрического пульсатора [1].

Тогда скорость потока  $v$ , м/с, будет определяться по формуле:

$$v = 4\pi^2 fK / 0,22 \quad (5)$$

Решая совместно уравнения 3, 4 и 5, определяют оптимальные параметры продувки и размеры пульсатора. Данные расчетов по модели представлены в таблице 2:  $D$ ,  $h$  – диаметр и высота ковша, м;  $f_{01}$ ,  $f_{11}$ ,  $f_{21}$  – номер частоты колебаний,  $V_{01}$  – расход газа для соответствующей частоты колебаний, м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 2 – Параметры продувки (диаметр пульсатора 16 мм)

Ковш	D	h	$f_{01}$	$f_{11}$	$f_{21}$	$V_{01}$	$V_{11}$	$V_{21}$
60 т	2,45	2,5	0,611	0,787	0,882	7,746	9,981	11,179
10 т	1,3	1,35	0,839	1,08	1,21	10,634	13,701	15,347

На этом принципе были разработаны конструкции дутьевых устройств для продувки чугуна нейтральным газом. За основу была взята обычная фурма «ложный стопор». Внутри трубы устанавливали цилиндрические пульсаторы.

Как показали дальнейшие исследования, данный тип фурм генерирует целый спектр частот, значения которых определялись на промышленной установке с помощью импульсного прецизионного шумометра RFG00017. Был оценен уровень виброскорости колебания фурмы от удельного расхода азота. Исследования виброскорости производили с помощью анализатора спектра, шума и вибрации LD 2800 производства фирмы «Ларсон-Дэвис». Результаты экспериментов показали, что обработка расплава производится в диапазоне от 1 до 23000 Гц. Вследствие высоких значений мощности (порядка 100 Дб) интенсифицируется процесс перемешивания и повышается степень рафинирования металла и усвоение ферросплавов.

Выявлено, что чем продолжительнее продувка, тем интенсивнее про-

исходит спелеудаление над ковшом. Продувка чугуна в заданных режимах повысила плотность и механические свойства чугуна.

Исследования по оценке влияния данной продувки на газосодержание чугуна, полученного в индукционных печах на шихте с использованием боя отработанных изложниц, выполнялись на 10-тонных ковшах литейного цеха, где удельный расход продуваемого газа значительно выше, чем в 60-тонных ковшах и продувка чугуна в заданных режимах позволяет значительно снизить и газосодержание чугуна. Анализ эксплуатационной стойкости отливок показал, что стойкость изложниц и поддонов, отлитых из чугуна, продутого азотом в данном режиме, повышается более чем на 10 %. Данная продувка эффективна при производстве изложниц, так как способствует получению благоприятной перлитной структуры, обеспечивающей приемлемую стойкость изложниц.

Продувка чугуна для отливки кузнечных изложниц и шлаковых чаш объемом 12,8 м<sup>3</sup> и в настоящее время производится в течение не менее 15 минут. Прочностные свойства чугуна после данной обработки повышаются до уровня (130...170) МПа, что позволяет в перспективе рассматривать данный чугун как конструкционный чугун марок СЧ10, СЧ15.

Столь эффективные технологии, как термовременная обработка расплава и резонансно-пульсирующее рафинирование находят применение и в сталеплавильном производстве. В результате внедрения термовременной обработки при производстве чугуна индукционной плавки значительно (до 300 плавок), повышена эксплуатационная стойкость крышек промежуточных ковшей сортовой МНЛЗ [4] из экономнолегированного чугуна.

Предложены и опробованы в ККЦ-2 схемы защиты струи и внепечного рафинирования стали на участке «сталеразливочный-промежуточный ковш» со-ртовой МНЛЗ с использованием воздействия на расплав газодинамических пульсаторов. Предлагаемая технология заключается в акустическом воздействии газовой струи на струю металла (вводя пульсирующий поток аргона в защитную трубу), поступающего из сталеразливочного ковша в промежуточный в процессе непрерывной разливки.

Эксперименты показали, что применение пульсирующей подачи инертного через погружаемую трубу в приемную ванну промежуточного ковша позволяет интенсифицировать перемешивание, изменяя и характер циркуляции потоков стали. При вдувании газа в таком режиме не образуется бурунов оголенного металла на поверхности ванны. По характеру перемешивания в системе «металл-шлак» отмечено, что образование гомогенного однородного шлакового покрова наблюдается при меньших расходах инертного газа.

Положительное влияние ввода пульсирующей струи аргона особенно проявилось при вводе порошковой ленты с силикокальцием в приемную ванну промежуточного ковша. Установлено, что вследствие большей интенсивности перемешивания и изменения циркуляции потоков стали силикокальций вовлекается в объем ванны, увеличивая его усвоение. В сравнитель-

ном промежуточном ковше, несмотря на большой расход инертного газа, мощность перемешивания недостаточна, вследствие чего часть силикокальция сгорает на поверхности металла и в шлаке приемной ванны, снижая его усвоение металлом, что подтверждается химическим анализом стали.

Характер истечения аргона из защитной трубы тут также несколько иной. По литературным данным [10 – 12], подтвержденным экспериментами на сортовой МНЛЗ ККЦ-2, возрастающая при такой технологии поверхность взаимодействия позволяет увеличить удельную мощность воздействия на расплав по сравнению с продувкой в сталеразливочном ковше, увеличивает количество мелкодисперсной газовой фазы в промежуточном ковше и, тем самым, как свидетельствуют данные [11, 12], интенсифицирует рафинирование металла.

Выводы. Таким образом, в результате многолетних исследований на комбинате разработаны и внедрены технологии термовременной обработки с деазотацией расплава и резонансно-пульсирующего рафинирования, повышена стойкость сменного оборудования: кузнечных и блюминговых изложниц, поддонов, крышек промежуточных ковшей МНЛЗ. Предложены и опробованы технологические схемы использования пульсирующих струй на МНЛЗ для защиты от азотирования и вторичного окисления стали на участке «сталеразливочный–промежуточный ковши», для повышения усвоения кальция в промежуточном ковше.

#### Библиографический список

1. Эффективность современных способов повышения качества изделий из чугуна и развитие металлургических и машиностроительных предприятий в условиях конкуренции / Д.А. Лубяной, Б.А. Кустов, Н.И. Новиков и др. // Под ред. к.т.н. Лубяного Д.А. и к.э.н. Новикова Н.И. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2004. – 131 с.
2. Термовременная обработка расплава чугуна / Цепелев В.С., Селянин И.Ф., Лубяной Д.А., Баум Б.А. и др. // Сталь – 1995. – № 5. – с. 42 – 45.
3. Лубяной Д.А. Результаты внедрения термовременной обработки на предприятиях Кузбасса / Литейщик России. – 2004 – № 7 – С. 22 – 23.
4. Крышки промежуточных ковшей МНЛЗ из экономнолегированного чугуна / Лубяной Д.А., Требинская В.В., Каминская И.А. и др. // Сталь. – 2006. – № 5. – С. 40 – 41.
5. Поведение азота при плавке чугуна в индукционных печах с кислой футеровкой / Лубяной Д.А., Нейгебауэр Г.О., Цымбал В.П. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия – 1991. – № 2 – С. 76 – 80.
6. Лубяной Д.А. Анализ механизма и кинетики десульфурации чугуна в кислых индукционных печах промышленной и средней частоты // Литейщик России. – 2006. – № 12. – С. 22 – 25.
7. Лубяной Д.А. Применение резонансно-пульсирующего рафинирования для повышения качества изделий из чугуна // Литейщик России. – 2004. – № 7. – С. 30 – 32.

8. Униговский Я.Б. Выбор параметров колебаний при обработке жидких металлов в ковше // Сталь. – 1992.
9. Патент на ПМ 61710 (РФ), МПК 8 С21 С5/48. Фурма для продувки металла в ковше / Д.А. Лубяной, В.Г. Переходов, В.П. Комшуков, Ю.Н. и др. 2006131724/22; Заявл. 04.09.2006; Опубл. 10.03.2007, Бюллетень «Изобретения. Полезные модели», 2007, № 7.
10. Шиш Ю.И., Борисов Ю.Н., Бродский С.С. и др. Гидродинамика жидкой фазы непрерывнолитого слитка при пульсационной обработке // Сталь. – 1995. – № 3. – С. 22 – 26.
11. Ефимов Г.В. Управление процессом рафинирования стали в промежуточном ковше // Сталь. – 2001. – № 4. – С. 24 – 27.
12. Центральная сегрегационная неоднородность в непрерывнолитых листовых заготовках и толстолистовом прокате / А.П. Белый и др. М.: Металлургиздат, 2005. – 136 с.

УДК 660.046:621:620.179

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ**

КЛИМОВ А.С., МЕДЕНКОВ А.А., ПЕТРОВА В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Данная работа посвящена разработке модели состояния ковша со сталью в агрегат комплексной обработки стали (АКОС).

В настоящей работе приводится разработка математической модели конвективного теплообмена расплава в ковше (в АКОС) при его продувке инертным газом через пористую вставку в днище ковша или порошкообразным материалом через погружную футерованную фурму. С помощью модели исследуется технология внепечной обработки стали и обосновываются режимы работы АКОС.

Исследование теплообмена расплава в ковше усложняется тем, что необходимо учитывать влияние на теплообмен перемещения теплоносителя. Поскольку вдувание газа и порошка является основной внешней силой, определяющей конвективное перемешивание среды, то требуется разработать математическую модель тепловой гидродинамики расплава в условиях вынужденной конвекции.

Модель может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных.

Исследуемая среда считается в принятом приближении несжимаемой. В момент определенного дискретного шага эффектом свободной конвекции пренебрегаем, а вынужденная – учитывается.

В приближении Буссинеска система уравнений конвективного теплопереноса может быть представлена в следующем виде:

$$\frac{\partial \bar{\mathcal{G}}_p}{\partial t_p} + (\bar{\mathcal{G}}_p \nabla) \bar{\mathcal{G}}_p = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \nabla^2 \bar{\mathcal{G}}_p + \frac{1}{V\rho} \bar{f}_p,$$

$$\operatorname{div} \bar{\mathcal{G}}_p = 0,$$

$$\frac{\partial T}{\partial t_p} + \bar{\mathcal{G}}_p \nabla T = a \nabla^2 T + Q_T,$$

В рассматриваемом случае объемные силы  $\bar{f}$  определяются следующим образом:

$$\bar{f} = \bar{I} * \bar{B}, \text{ Н/м}^3, \quad (12)$$

где  $\bar{I}$  – плотность тока, А/м<sup>2</sup>;

$\bar{B}$  – магнитная индукция, Тл.

Для определения  $\bar{I}$  и  $\bar{B}$  рассмотрим полную систему уравнений Максвелла в дифференциальной форме:

$$\nabla * \bar{E} = \frac{\bar{\mathcal{D}}}{a}, \quad (1)$$

$$\nabla * \bar{H} = \bar{I} + \frac{\bar{\mathcal{D}}}{a}, \quad (2)$$

$$\nabla * \bar{B} = 0,$$

$$\nabla * \bar{D} = \rho$$

где  $\bar{\nabla}$  – набла-оператор;

$\bar{E}$  – напряженность электрического поля, В/м;

$\bar{H}$  – напряженность магнитного поля, А/м;

$\bar{D}$  – электрическое смещение, Кл/м<sup>2</sup>;

$\rho$  – объемная плотность электрических зарядов, Кл/м<sup>3</sup>.

Величины, входящие в уравнения (1) и (2), связаны между собой соотношениями

$$\bar{D} = \varepsilon_0 \bar{E}, \quad (17)$$

$$\bar{B} = \mu_0 \bar{H}, \quad (18)$$

$$\bar{I} = q \bar{E}, \quad (19)$$

где  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Кл<sup>2</sup>/(Н·м<sup>2</sup>) – электрическая постоянная;

$\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Н/А<sup>2</sup> – магнитная постоянная;

$\mu$  – магнитная проницаемость среды;

$q$  – удельная электропроводность вещества, См/м.

Решая данную систему, приходим к уравнению расчета напряженности магнитного поля, которое переводим в разностную форму и добавляем граничные условия. Таким образом, мы разбиваем ковш на зоны, а те, в свою очередь, на ячейки и находим значение напряженности в каждой точке (ячейке) ковша. Также задаются краевые условия по скорости движения расплава, по функции тока, по вихрю скорости и температуре. При этом надо иметь ввиду то, что от начального вида распределения температуры жидкой стали зависит динамика изменения температуры.

Для того чтобы улучшить гомогенизацию расплава, необходимо знать длительность нагрева жидкой стали, а также время дополнительной продувки. Зная эти параметры, можно более точно осуществлять контроль и управление нагревом и гомогенизацией расплава стали и рационально использовать электроэнергию, порошки, газ и т.д. Суть этого алгоритма заключается в следующем: находим среднюю температуру стали по ковшу и сравниваем ее с заданной средней температурой. Нагрев прекращается в том случае, если разница между ними меньше либо равна допустимого значения. Но так как происходит теплотери в боковые стенки и днище, то необходимо дополнительно продувать расплав. Находим новое значение температуры как сумму средней заданной температуры и средней по ковшу. Продувка прекращается в том случае, если разница между новым значением температуры на данном и предыдущем шаге меньше либо равна 2 % средней заданной температуры.

В результате исследования сделаны следующие выводы:

- была произведена статистическая обработка данных по температуре в ковше;
- проведен математический анализ всех режимов АКОСа с получение числовых результатов в конце исследования, которые послужили отправной точкой для моделирования процесса;
- проведено исследование застойных зон в ковше;
- исследовано распределение температур в объеме ковша.

На основании проведенной работы мной была разработана математическая модель электромагнитной гидродинамики отвечающей следующим требованиям:

- определение эквипотенциальных линий в узлах дискретизации модели;
- построение матрицы скоростей;
- построение матриц распределения температур в АКОС;
- визуализация результатов.

На основе разработанной математической модели создана программа визуализации для практического применения в цехе.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С УЧЁТОМ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

МЕДЕНКОВ А.А., КЛИМОВ А.С., АФАНАСЬЕВ В.К., ПЕТРОВ В.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В статье рассмотрено влияние эксплуатационных факторов на свойства основного металла паропроводов, изготовленных из стали 20, с наружным диаметром и толщиной стенки 273x8 мм, исследовано влияние температурной нагрузки на долговечность паропроводов, определено изменение твёрдости стали с течением эксплуатации.

Современные критерии надёжности определённым образом связаны с оценкой времени работы изделия до отказа. Именно в этом проявляется эффективность системы диагностики.

На входном контроле проводились следующие исследования: механические испытания на разрыв, на холодный изгиб, на твёрдость и на сплющивание труб (таблица 1); также были проведены металлографические исследования микро- и макроструктуры.

Таблица 1 – Механические свойства основного металла

$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	НВ	Сплющивание	Угол холодного загиба
0,00031	0,00044	30	133	Удов.	180°

Микроструктура в момент поставки представляет собой феррит и участки перлита с величиной зерна 7 – 8 баллов по шкале ГОСТ 5639-51.

Загрязнение металла неметаллическими включениями типа оксидов и сульфидов не превышает 2 баллов по шкале ГОСТ 1778-42.

Вторичное исследование проводилось после 300000 часов эксплуатации. На этом этапе проводился химический анализ основного металла (таблица 2), измерена его твёрдость (таблица 3) и проведены металлографические исследования.

Таблица 2 – Химический анализ основного металла

№ трубы	Химический состав, %				
	C	Mn	Si	P	S
1	0,19	0,61	0,21	0,024	0,041
2	0,20	0,62	0,21	0,024	0,040

Исследования проводились с двух сторон от сварного соединения для получения более полной информации о предмете исследований

Таблица 3 – Твёрдость основного металла

№ трубы	НВ
1	143
2	143

Макроструктура, выявленная в результате контроля, является удовлетворительной, каких-либо дефектов не выявлено. Микроструктура сварных труб представляет собой перлит и феррит с величиной зерна 9 – 10 баллов по шкале ГОСТ 5639-82; также наблюдается полосчатая структура до 4 баллов ряда Б по шкале ГОСТ 5640-68.

В результате проведенных исследований было выявлено, что структура паропроводов и их механические характеристики находятся в удовлетворительном состоянии согласно требованиям РТМ-1С.

Но, несмотря на то, что труба после такого продолжительного срока эксплуатации находится согласно результатам проведённых исследований в удовлетворительном состоянии, необходимо учесть следующее: некоторые требования, заложенные в нормативных документах на механические кратковременные характеристики, не отражают действительные критические показатели, а, следовательно, при ориентировании на эти требования результат диагностики окажется неточным.

Рассмотрен температурный режим эксплуатации паропровода из стали 12Х1МФ в течение суток (рисунок 1). Химический состав стали приведён в таблице 4.

Таблица 4 – Требования ТУ 14-ЗР-55-2001 по химическому составу хромомолибденованадиевых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %							
	С	Si	Mn	Cu	Mo	V	S не более	P не более
12Х1МФ	0,10	0,17	0,4	0,80	0,25	0,15	0,025	0,025
	0,15	0,37	0,70	1,10	0,35	0,30		

За 24 часа по диаграмме наблюдается в среднем пять скачков температуры с амплитудой более десяти градусов, то есть происходит пять циклов температурной нагрузки.

Выясним, как твёрдость стали меняется под действием этих циклических температурных нагрузок (рисунок 2).

На этом рисунке показана зависимость твёрдости стали от количества циклической тепловой нагрузки. Как видно из графика, нет постепенного снижения твёрдости с увеличением числа термических циклов. Наоборот, наблюдаются спады и возрастания твёрдости в течение определённого числа циклов. Это связано с тем, что под влиянием термической нагрузки и внутренних напряжений меняется структурно-фазовый состав в стали. Например,

твёрдость повышается при образовании карбидов в процессе эксплуатации.

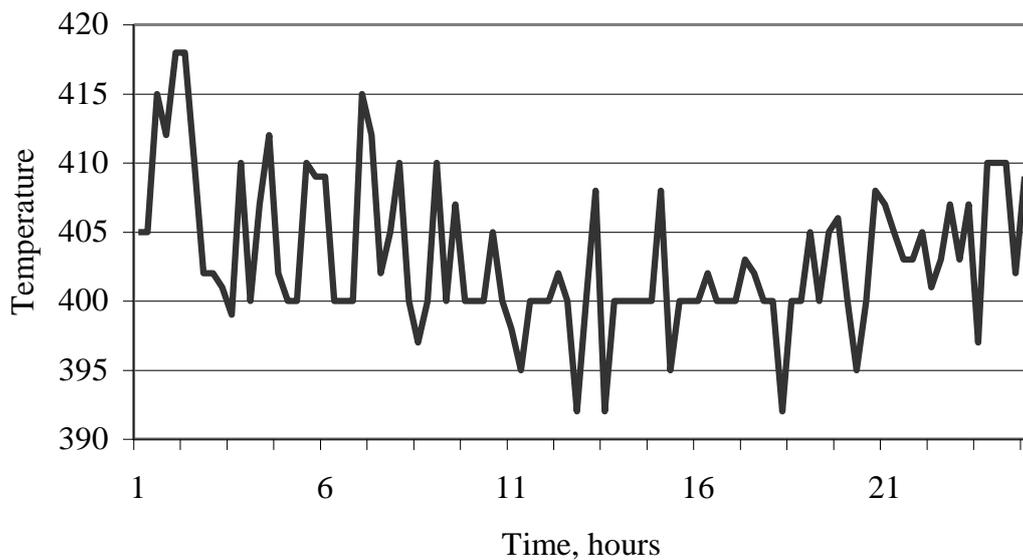


Рисунок 1 – Зависимость температуры от времени

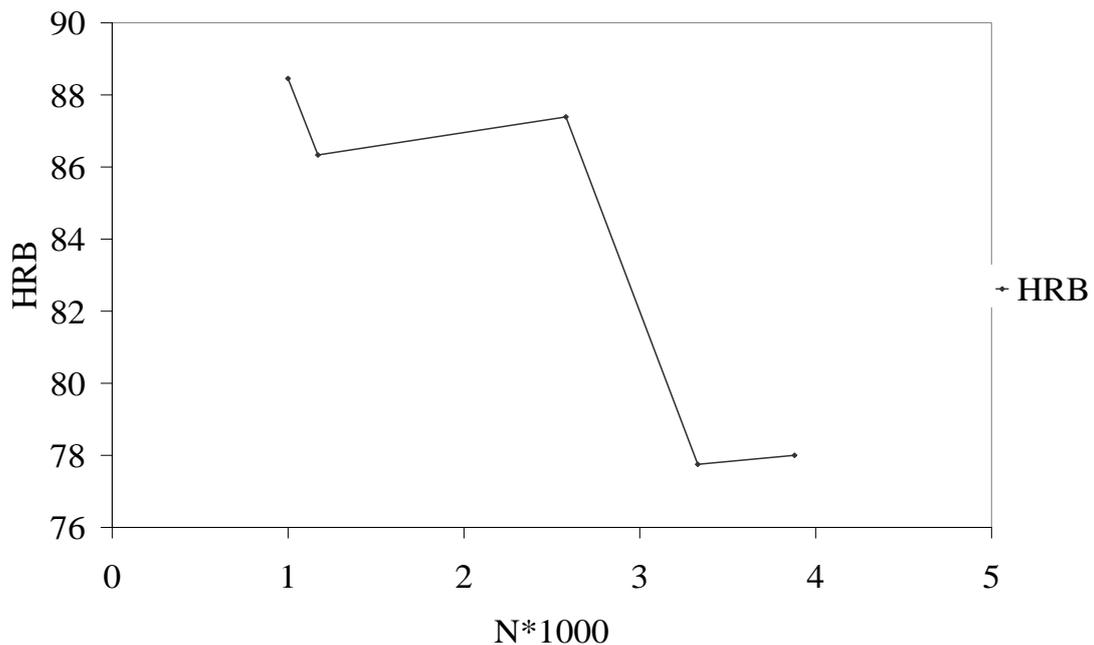


Рисунок 2 – Зависимость твёрдости стали от температурных циклов

Рассмотрим изменение твёрдости у труб с различным временем эксплуатации (рисунок 3).

Измерения проводились от наружной поверхности паропровода к внутренней. В результате обработки опытных данных можно сделать вывод об образовании градиента твёрдости по сечению, т.е. выявляется уменьшение твёрдости при переходе от наружной поверхности к внутренней.

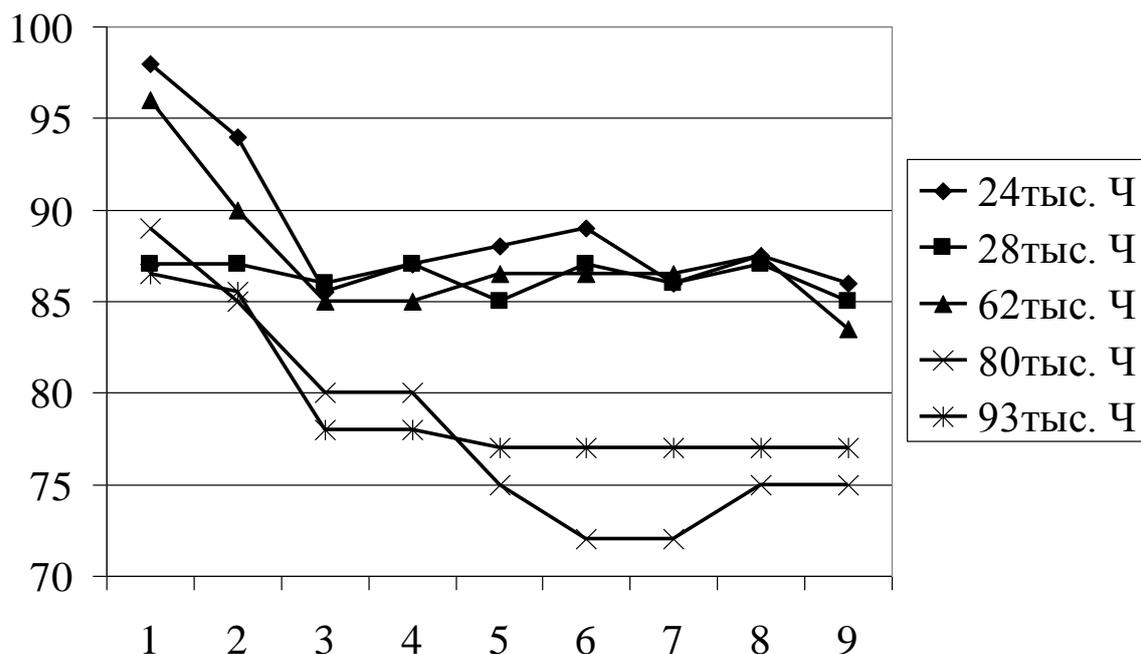


Рисунок 3 – Изменение твёрдости по сечению труб

Таким образом, тепловая циклическая нагрузка оказывает значительное влияние на структуру материала и, следовательно, на твёрдость. Влияние этой нагрузки нельзя недооценивать, так как возрастание количества циклов и температурного разбега в процессе эксплуатации паропровода может привести к аварии.

При уменьшении температурного разбега и числа циклов, соответственно, можно достичь превышения расчётного ресурса, поэтому необходимо внимательно следить за технологическими режимами.

УДК 669:017:620.179

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

ПЕТРОВ В.И., САРЫЧЕВ В.Д., ПЕТРОВА В.А., ЛЕВИНА Е.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Большинство исследований в области теории акустического контроля ведется в рамках геометрической акустики. При развитии ультразвуковых методов контроля необходимо учитывать методы нестационарной теории упругости. Основным отличием упругой среды от неупругой является наличие двух типов волн – волн расширения и волн сдвига, а при наличии по-

верхности раздела следует учитывать их постоянное превращение друг в друга при преломлении и отражении.

Ранее, например, в работе [1] изучены динамические явления при разрушении горных пород, наблюдающиеся в полупространстве, состоящем из двух частей – абсолютно жесткой и упругой. Сцепление между ними вначале считается полным, границей раздела является полуплоскость, наклоненная под произвольным углом к свободной поверхности данного составного полупространства. Движение свободной поверхности обусловлено внутренним динамическим источником – отслоением сдвига, которое возникает и проходит в плоскости раздела. Данная постановка задачи описывает процессы, связанные с разрушением горных пород в условиях крутопадающих пластов при большом перепаде жесткостных характеристик контактирующих друг с другом материалов. Результатом работы явилось получение расчетных формул, позволяющих оценить продольные и поперечные смещения на свободной поверхности и провести параметрические расчеты, из которых следует, что максимумы ускорений в зависимости от времени достигаются для моментов времени прихода продольной, поперечной и рэлеевской волны из эпицентра трещины в точку наблюдения.

Известны решения в рамках теории упругости для слоя конечной толщины, когда нагрузка приложена к одной поверхности слоя [2, 3] и известны решения о нахождении смещений границы полупространства при движении наклонной трещины [4].

Постановка задачи. Пусть в твёрдом теле толщиной  $h$  на глубине  $d$  действует источник волн напряжений с интенсивностью  $F(t)$ . Необходимо математически описать процесс распространения колебаний в твёрдом теле и установить вид регистрируемого сигнала на поверхности  $G(t)$  (рисунок 1).

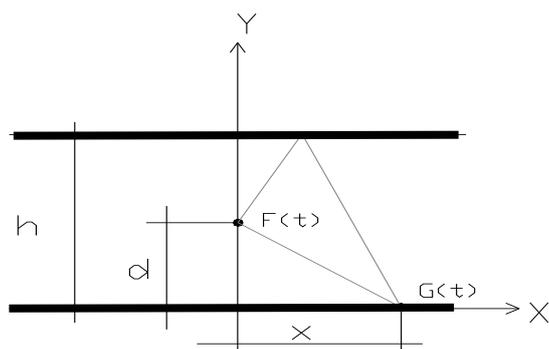


Рисунок 1 – К постановке задачи

Перейдем к безразмерным переменным, в которых за единицу измерения приняты: толщина слоя, скорость волны расширения и интервал времени прохождения толщины слоя волной расширения. Рассмотрим акустический случай, при котором пренебрегают поперечной волной или считаем, что модуль сдвига равен нулю ( $\mu = 0$ ). Уравнения для смещений в этом случае принимают вид:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0. \quad (1)$$

Граничные условия на сторонах пластины  $y = 0$ ;  $y = 1$  соответствуют отсутствию напряжений:

$$f = \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) = 0. \quad (2)$$

В силу того, что  $\mu = 0$  второе граничное условие тождественно обращается в нуль, поэтому при  $y = 0$ ;  $y = 1$  имеем

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Начальные условия задачи примем нулевыми:

$$U(0, x, y) = 0; v(0, x, y) = 0; u_t(0, x, y) = 0; v_t(0, x, y) = 0. \quad (4)$$

Точечный источник моделируется внезапным возникновением продольных смещений в точке с координатами  $x = 0$ ;  $y = a$ , где  $a = d/h$ . В силу симметрии задачи рассматриваем только  $x \geq 0$ . Тогда граничное условие при  $y = 0$  имеет вид:

$$u(0, y, t) = U_a \delta(y - a) \theta(t), \quad (5)$$

$$g \frac{\partial V_c}{\partial y} + n^2 U_s - (g U_a / s) \delta(y - a) = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial V_c}{\partial y^2} + g \frac{\partial U_s}{\partial y} - s^2 V_c - (U_a / s) \frac{\partial \delta(y - a)}{\partial y} = 0.$$

Общее решение системы (6) имеет вид

$$U(y) = -g(c_1 \operatorname{sh} ny + c_2 \operatorname{ch}(ny)) / n + (U_a g / sn) \times \operatorname{sh}((y - a)n) \times \theta((y - a) - 1),$$

$$V_s(y) = c_1 \operatorname{sh}(ny) + c_2 \operatorname{ch}(ny) + (U_a / s) \times \operatorname{sh}((y - a)n) \times \theta((y - a) - 1),$$

где  $n = \sqrt{g^2 + s^2}$ .

$$\frac{\partial U_s}{\partial y} - g V_c = 0, \quad (7)$$

$$U_1 = (U_a g / sn) \frac{\exp((a - 1)n) + \exp(-(a + 1)n)}{1 - \exp(-2n)}. \quad (8)$$

Тогда выражения для продольных смещений на границах имеют вид:

$$u_0(x, t) = \frac{2x}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} (\Phi(\tau_1(m)t) / \tau_1^2(m) + \Phi(\tau_2(m)t) / \tau_2^2(m)), \quad (9)$$

$$u_1(x, t) = \frac{2x}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} (\Phi(\tau_3(m)t) / \tau_3^2(m) + \Phi(\tau_4(m)t) / \tau_4^2(m)).$$

Зависимость смещения от времени на поверхности представлены на рисунке 2. Отчетливо видны всплески от прихода отраженных волн, которые в зависимости от номера отражения затухают обратно пропорционально  $m^2$  ( $m$  – шаг), рисунок 2, а.

Данный расчет (рисунок 2, б) является первым этапом моделирования регистрации акустических сигналов на поверхности тела от излучающего дефекта, залегающего на некоторой глубине. При этом из зависимости смещения от времени в какой либо точке поверхности можно определить глубину залегания дефекта или развивающейся трещины.

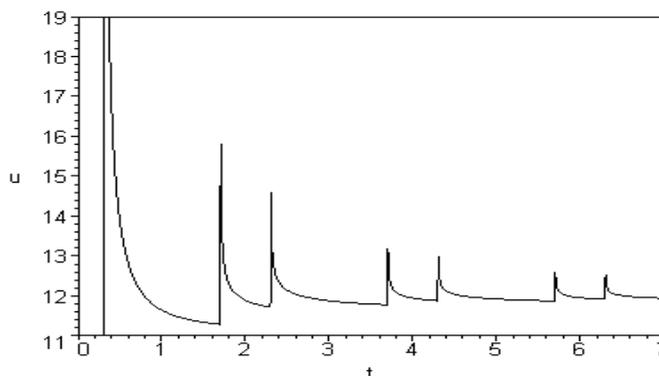


Рисунок 2, а – Затухание отраженных волн (относительные координаты)

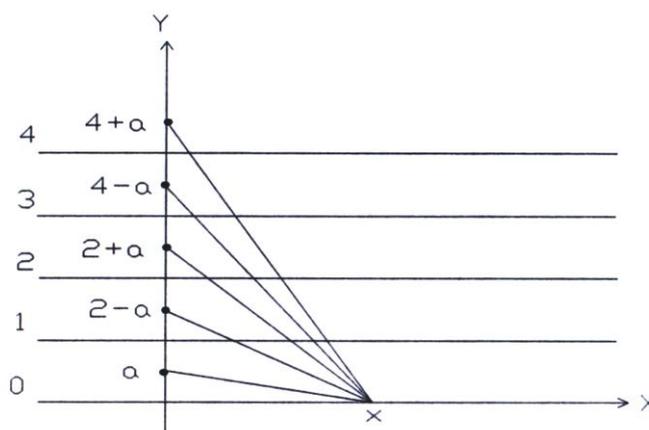


Рисунок 2, б – Схема сложения сигналов в точке  $X = x$

#### Библиографический список

1. Сарайкин В.А. Движение поверхности составного полупространства при динамическом отслоении вдоль внутренней границы // ПМТФ. – 1995. – № 4. – С. 155 – 162.
2. Сарайкин В.А. Расчет упругих нестационарных волн в изотропном слое / В.А. Сарайкин // ЖПМТФ. – 1973. – № 4. – С. 148 – 155.
3. Никифоровский В.С. Динамическое разрушение твердых тел / В. Никифо-

- ровский, Е.И. Шемякин. – Новосибирск: Наука, 1979. – 271 с.
4. Сарайкин В.А. Движение свободной границы полупространства при распространении наклонной прямолинейной трещины / В.А. Сарайкин // ЖПМТФ. – 1990. – № 1. – С. 54 – 73.

УДК 669:017:620.179

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ НАРУШЕНИИ СПЛОШНОСТИ УПРУГИХ СРЕД

ПЕТРОВ В.И., ПЕТРОВА В.А., ПАТАНИН А.В., МЕДЕНКОВ А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В качестве математической модели явления рассматривается плоская задача об излучении волн движущимся дефектом [1, 2] перпендикулярно свободной поверхности предварительно напряженного материала. Достаточно обстоятельно эта задача исследована в двух предельных случаях:

1. При бесконечно малой длине трещины – плоская задача Лэмба. В этом случае подробно исследовано распределение энергии различных типов волн. В частности, показано, что энергетический вклад волн следующий: волны Рэлея – 67 %, поперечные – 26 %, продольные – 7 %. Однако в этом случае не учитывается влияние свободной поверхности, образуемой трещиной, что не позволяет автоматический перенос результатов исследований.

2. Случай, когда свободная поверхность отнесена на бесконечность, то есть трещина полубесконечна. Основное внимание, однако, уделено процессам перераспределения энергии в вершине трещины, поэтому проведенный анализ для данной задачи не совсем приемлем.

Наибольший интерес в теоретическом плане задач регистрации упругих волн представляет исследование перераспределения энергии с учетом наличия свободных поверхностей материала и образовавшейся трещины. Таким образом, задача рассматривается в следующей постановке: требуется в первом приближении определить поля упругих напряжений и смещений, удовлетворяющие граничным условиям:

$$\begin{cases} x = \pm\infty & 0 \leq z \leq H & \sigma_x = \sigma_0 = const, \\ z = 0, H & -\infty \leq x \leq +\infty & \sigma_z = \tau = 0, \\ x = 0 & 0 \leq z \leq z_0(t) & \sigma_x = \tau = 0, \end{cases}$$

где  $\sigma_x, \sigma_z, \tau$  – компоненты поля напряжения вдоль соответствующих осей,

$\sigma_0$  – приложенная нагрузка;

$z_0(t)$  – координата вершины трещины.

Напряжения и смещения внутри области удовлетворяют уравнениям движения (а) и закону Гука (б):

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial z}, \\ \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \end{cases} \quad (a)$$

$$\begin{cases} \sigma_x = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \frac{\partial w}{\partial z}, \\ \sigma_z = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \frac{\partial u}{\partial x}, \\ \tau = \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{cases} \quad (б)$$

где  $\lambda, \mu$  – постоянные Ламе;

$\rho$  – плотность материала;

$u, w$  – смещение вдоль координат  $x$  и  $z$  соответственно.

Вычитая равномерное поле напряжений  $\sigma_x = \sigma_0, \sigma_z = \tau = 0$ , перейдем к рассмотрению дополнительной задачи. Учитывая симметрию по координате в дополнительной задаче, имеем вместо вышеприведенных следующие граничные условия:

$$\begin{cases} x = \infty, & 0 \leq z \leq H, & \sigma_x = 0 & a). \\ z = 0, H, & 0 \leq x \leq \infty, & \sigma_z = \tau = 0 & б). \\ x = 0, & 0 \leq z \leq z_0(t), & \sigma_x = -\sigma_0, \tau = 0 & в). \\ x = 0, & z_0(t) \leq z \leq H, & \tau = 0, u = 0 & г). \end{cases}$$

Данная задача является смешанной краевой задачей динамической теории упругости. В такой постановке анализ затруднителен, поэтому заменим условие (в) на приближенное:

$$\text{при } x = 0, \quad 0 \leq z \leq z_0(t), \quad u = u_0(z, t), \quad \tau = 0,$$

где  $u_0(z, t)$  подбирается из соотношения:

$$\frac{1}{z_0} \int_0^{z_0} \sigma_x(t, 0, z) dz = -\sigma_0.$$

Таким образом, на всей оси  $x = 0$  заданы смещения

$$u = u_0(z, t) \cdot \Theta [z_0(t) - z],$$

где  $\Theta(y)$  – функция Хэвисайда.

Начальные условия предполагаются нулевыми:

$$\begin{cases} \sigma_x(0, x, z) = \sigma_z(0, x, z) = \tau(0, x, z) = u(0, x, z) = w(0, x, z) = 0, \\ \frac{\partial \sigma_x}{\partial t}(0, x, z) = \frac{\partial \sigma_z}{\partial t}(0, x, z) = \frac{\partial \tau}{\partial t}(0, x, z) = \frac{\partial u}{\partial t}(0, x, z) = \frac{\partial w}{\partial t}(0, x, z) = 0. \end{cases}$$

В такой постановке имеем:

$u(t, x, z) = -u(t, -x, z)$ , смещения  $u$  – функция нечетная;

$w(t, x, z) = +w(t, -x, z)$ , смещения  $w$  – функция четная.  
 Это позволяет использовать для решения задачи преобразование Фурье для  $u$  по синусам, а для  $w$  по косинусам:  
 Определяются прообразы смещений:

$$\begin{cases} u(t, x, z) = \frac{1}{\pi i} \int_0^{\infty} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} -qA(p, q) e^{-n_1 z} - n_2 B(p, q) e^{-n_2 z} + \phi(p, q) e^{\frac{-pz}{v_0}} e^{pt} \sin(qx) dPdq, \\ w(t, x, z) = \frac{1}{\pi i} \int_0^{\infty} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} (-n_1 A(p, q) e^{-n_1 z} - qB(p, q) e^{-n_2 z} + \phi(p, q) e^{\frac{-pz}{v_0}}) e^{pt} \cos(qx) dPdq. \end{cases}$$

Из полученных интегральных представлений перемещений с помощью закона Гука [3, 4] можно получить все компоненты напряжений и, следовательно, вклад в перенос энергии соответствующих компонент волнового поля.

Количественной мерой локального смещения свободной поверхности является амплитуда, которая характеризуется плотностью кинетической энергии в данной точке. В продолжение вышеизложенного в данном получено решение в явном виде прообразов и представлено в удобной для эффективного численного исследования на ЭВМ форме. На основе этого решения проведен анализ вкладов в результирующую энергии продольных и поперечных волн и выбрана плотность кинетической энергии на свободной поверхности:

$$\varepsilon(x, t) = \left[ \left( \frac{du}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dw}{dt} \right)^2 \right]_{z=0}.$$

Прямое вычисление интегралов представляет известные трудности, в связи с чем развито несколько методов вычислений прообразов. Для решения нашей задачи предлагается метод Каньяра-де Хупа в модификации Слепяна Л.И. [5].

I. ( $x > c_1 t$ , скорости отсутствуют:  $\frac{du}{dt} = \frac{dw}{dt} = 0$ .)

II. ( $-_2 t < x < c_1 t$ .)

$$\frac{du}{dt} = \frac{4u_0}{\pi \cdot v_0 t \tilde{\Delta}(S) \left[ (b_2^2 - 2S^2)^4 + 16S^4 (b_2^2 - S^2)(S^2 - b_1^2) \right]} \times$$

$$\times \left\{ \begin{aligned} & 2S^4 \sqrt{S^2 - b_1^2} \sqrt{b_2^2 - S^2} \left[ -a_{23} S^2 + a_{41} S^4 + a_{05} + \right. \\ & \left. + 2\hat{a} S^2 \sqrt{b_2^2 - S^2} \right] + \\ & \left. + S^2 \sqrt{b_2^2 - S^2} \left[ \left( \hat{b}_2 - \hat{b}_1 S^2 \right) \sqrt{S^2 - b_1^2} (b_2^2 - 2S^2)^2 - \right. \right. \\ & \left. \left. - 4S^2 (b_{14} - b_{32} S) \sqrt{S^2 - b_1^2} \sqrt{b_2^2 - S^2} \right] \right\}; \end{aligned}$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{2u_0}{\pi \cdot v_0 t \tilde{\Delta}(S) \left[ (b^2 - 2S^2)^4 + 16S^4(S^2 - b_1^2)(b_2^2 - S^2) \right]} \times \left\{ S \sqrt{S^2 - b_1^2} (b_2^2 - 2S^2)^2 \left[ a_{23}S^2 - a_{41}S^4 - a_{05} - 2\hat{a}S^2 \sqrt{b_2^2 - S^2} \right] + \right. \\ \left. + 2S^3 \left[ \left( \hat{b}_2 - \hat{b}_1 S^2 \right) \sqrt{S^2 - b_1^2} (b_2^2 - 2S^2)^2 \right] \right. \\ \left. + 4S^2 (b_{32}S^2 - b_{14}) \sqrt{S^2 - b_1^2} \sqrt{S^2 - b_2^2} \right\}.$$

III. ( $x < c_2 t$ .)

$$\frac{du}{dt} = \frac{2u_0 \delta(|x| - C_R t)}{v_0 \tilde{\Delta}(S) R'(C_R)} \left[ \frac{-a_{23} + (a_{41} + a_{05})S^2 + \sqrt{S^2 - b_1^2} \sqrt{S^2 - b_2^2}}{S^2} \left( \hat{b}_1 S^2 - \hat{b}_2 \right) \right] + \\ + \frac{2u_0}{v_0 \pi \cdot t \tilde{\Delta}(S) \left[ (b^2 - 2S^2) - 4S^2 \sqrt{S^2 - b_1^2} \sqrt{S^2 - b_2^2} \right]} \times \\ \times \left\{ 2\hat{a}S^4 \sqrt{S^2 - b_2^2} + S^2 \sqrt{S^2 - b_2^2} (b_{32}S^2 - b_{14}) \right\}; \\ \frac{dw}{dt} = \frac{2u_0 \delta(|x| - C_R t)}{v_0 \tilde{\Delta}(S) R'(C_R)} \times \\ \times \left[ -4\hat{a} \sqrt{S^2 - b_1^2} \sqrt{S^2 - b_2^2} - 2a_{41}S \sqrt{S^2 - b_1^2} \right] + \frac{(b_{32}S^2 - b_{14})}{S} + \\ + \frac{2u_0 \left\{ S \sqrt{S^2 - b_1^2} (a_{23}S^2 - a_{05}) + S^3 \sqrt{S^2 - b_1^2} \left( -\hat{b}_1 S^2 + \hat{b}_2 \right) \right\}}{\pi \cdot v_0 t \left[ (b^2 - 2S^2) - 4S^2 \sqrt{S^2 - b_1^2} \sqrt{S^2 - b_2^2} \right] \tilde{\Delta}(S)}.$$

В вышеприведенных выражениях  $C_R$  – скорость волн Рэлея;

$$R'(C_R) = \frac{4C_R}{(2 - b_2^2 C_R^2)^2} \left[ 4(b_1^2 + b_2^2 - 2C_R^2 b_1^2 b_2^2) - b_2^2 (2 - b_2^2 C_R^2)^3 \right];$$

где  $\delta(\xi)$  – дельта-функция Дирака.

Для расчета кинетической энергии составлена программа на языке Паскаль. Были приняты значения параметров  $\gamma = 1/4$ ;  $u_0 = 1$ ;

$v_0 = 0,1c_2$ . При этом  $H = \frac{C_1}{C_2} \approx 1,73$ .

## Библиографический список

1. Синхронная регистрация перемещения дислокаций и генерируемого ими звукового излучения / В.С. Бойко, Р.И. Гарбер, В.Ф. Кившик и др. // ФТТ. – 1975. – Т. 17. – С. 1541 – 1543.
2. Звуковое излучение двойникующих дислокаций при их выходе на поверхность / В.С. Бойко, Р.И. Гарбер, Л.Ф. Кривенко и др. // ФТТ. – 1969. – Т. 11. – С. 3624 – 3626.
3. Слепян Л.И. Нестационарные упругие волны. – Л.: Судостроение, 1972. – 376 с.
4. Miller G.F., Pursey H. On the Partition of Energie between Elastic Weves in Semi – Infinite Solid // Proc. Roy. Soc. A. – 1955. – S. 223.
5. Сарайкин В.А., Слепян Л.И. Плоская задача о динамике трещины в упругом теле // Изв. АН СССР. МТТ. – 1979. – № 4. – С. 54 – 73.

УДК 669.184.2.66

## **ФАЗОВО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФОСФОРИСТЫХ ШЛАКОВ**

Дорошенко В.А., Дорошенко Б.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Изучение особенностей процесса шлакообразования при переделе фосфористых чугунов в настоящее время в значительной мере опирается на данные петрографического анализа, позволяющие определить изменение фазового состава шлака в различные моменты плавки, особенности взаимодействия и растворения извести в шлаке, установить неоднородность расплава, структуру шлака, путь по которому протекает шлакообразование.

Петрографическим анализом проб шлака можно получить информацию о том, какие фазы первичного выкристаллизовываются из расплава при охлаждении, был ли шлак однородным, гомогенным, какое качество в шлаке неусвоенной извести.

По данным [1] в сталеплавильных фосфатшлаках с содержанием  $P_2O_5$ , более 5 %, в которых на долю  $CaO$ ,  $SiO_2$  и  $P_2O_5$ , т.е. трех главных оксидов, определяющих практическую ценность шлака, приходится более 60 %, основными минералогическими составляющими являются фосфаты и силикофосфаты, состав которых приведен в таблице 1.

Из всех приведенных в таблице 1 минералов только апатит и витлокит являются природными образованиями [1], а остальные – шлаковые, однако все они входят в пределы тройной системы  $(CaO) - (SiO_2) - (P_2O_5)$ . Витлокит плавится без разложения при 2003 К и переходит  $\alpha$  – в  $\beta$  – форму примерно при 1673 К. Гильгенштокит плавится с разложением на  $CaO$  и жидкость при 1903 К. Температура плавления силикокарнитита и нагельшмидтита нахо-

дится между 1903 2100 К. Томасит имеет очень высокую тугоплавкость.

Фосфатные соединения, приведенные в таблице 1, в зависимости от концентрации  $P_2O_5$  и  $SiO_2$  или только  $P_2O_5$  располагаются в определенной последовательности при увеличении концентрации  $CaO$  (рисунки 1, 2). Из таблицы 1 видно, что все фосфатные соединения подразделяются на 3 группы: первая – фосфаты с концентрацией  $SiO_2$  0-5%, в которых часть его заменяется на  $P_2O_5$ , вторая – силикофосфаты с концентрацией  $SiO_2$  5÷10%, которые имеют нормальный состав и третья – силикофосфаты с содержанием  $SiO_2$  12÷19%.

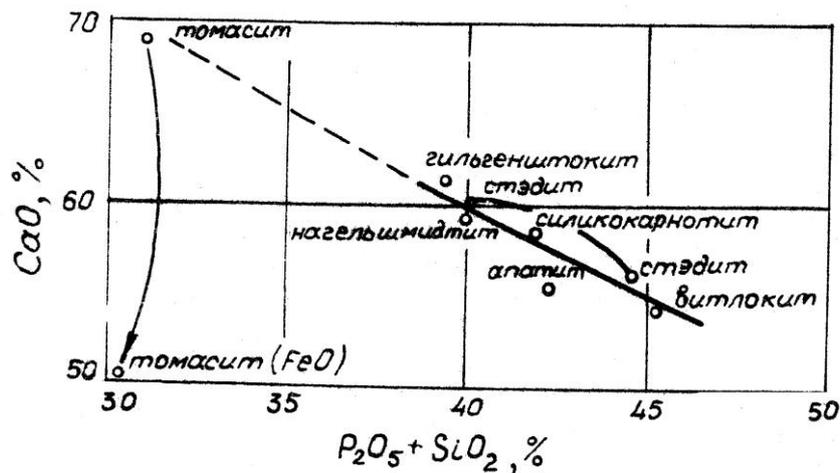


Рисунок 1 – Влияние суммы  $P_2O_5 + SiO_2$  на содержание  $CaO$  в различных группах силикофосфатов по данным [1]

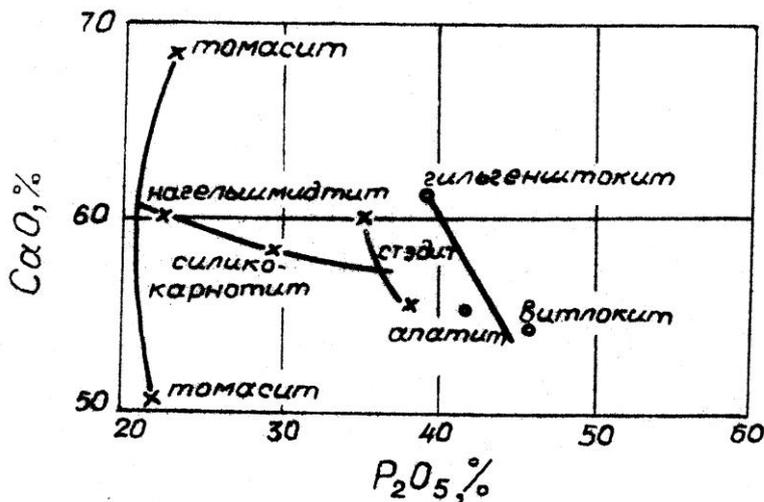


Рисунок 2 – Влияние концентрации  $P_2O_5$  на содержание  $CaO$  в различных группах силикофосфатов по данным [1]

Труднорастворимыми соединениями в почве согласно [2] являются: гильгенштокит, низкотемпературная модификация витлокита ( $\alpha$ -фаза).

Таблица 1 – Химический состав минералов фосфатшлаков, %.

Название минерала	Химическая формула минерала	SiO <sub>2</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		CaO		FeO	F	Общая сумма
		от	до	от	до	от	до			
Апатит	Ca <sub>5</sub> FP <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	-	-	-	42,26	-	55,55	-	3,76	100
Витлокит	α-3CaO·P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	48,80	-	54,20	-	-	100
Гильгенштокит	4CaO·P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	38,77	-	61,23	-	-	100
Стедит	3,3(3CaO·P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )· ·2CaO(2CaO·SiO <sub>2</sub> )	4,96	5,40	35,05	38,61	59,99	55,99	-	-	100
Томасит	6CaO·P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·2FeO·SiO <sub>2</sub>	8,99	9,23	21,13	21,85	50,07	68,92	19,81	-	100
Силикокарнотит	5CaO·P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·SiO <sub>2</sub>	-	12,43	-	29,46	-	58,11	-	-	100
Нагельшмидтит	7CaO·P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·2SiO <sub>2</sub>	-	18,35	-	21,69	-	59,96	-	-	100

Полученные на основе данных таблицы 1 графические зависимости растворимости и связывания СаО в системе (СаО) – (SiO<sub>2</sub>) – (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) от суммы P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и SiO<sub>2</sub> и отдельно P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (рисунки 1 и 2) позволяют прийти к выводу, что в реальных шлаках количество образующихся фосфатов и силикофосфатов при кристаллизации проб шлака определяется наличием суммы P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и SiO<sub>2</sub>, причем, в большей степени – оксидом фосфора. Представляет интерес связать путь шлакообразования с последовательностью чередования минералов в пробах шлака, отобранных по ходу плавки.

Наряду с отмеченным, в литературе отсутствуют данные о минералогическом составе фосфатшлаков, полученных при переделе чугунов с низким содержанием кремния и марганца.

Как известно, только в [3, 4] дано первое описание микроскопических исследований фосфатшлаков ОЛП, ЛД – АС при переделе чугунов с низким содержанием кремния и марганца.

В первичном конвертерном шлаке, спускаемом при содержании 1,0÷1,2 % углерода и содержащем не более 7 % (FeO) и до 25 % (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), обнаруживаются кристаллы силикофосфатов (смесь 2СаО·P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 2СаО·SiO<sub>2</sub> и вюститита), образовавшего с силикофосфатами эвтектику с мелко распределенными включениями нерастворившейся извести.

Для структуры конечных шлаков богатых оксидом двухвалентного железа, но бедных оксидами фосфора и кремния, характерно первичное выделение силикофосфатов с последующей рекристаллизацией гильгенштокита, сцементированного вюститом с ферритом кальция и первичное образование оксида кальция.

Таким образом, определив вид минерала в пробах шлака, можно судить о пути шлакообразования при конвертерном процессе. Кроме того, соотношение составляющих шлака определяет минералообразование.

#### Библиографический список

1. Лапин В.В. Петрография металлургических и топливных шлаков /В.В. Лапин. – М.: АН СССР, 1956. – 326 с.
2. Бородин Д.И., Романов В.И., Ишмухаметов Н.К. и др. Свойства конвертерных фосфористых шлаков КарМК и перспективы их использования // Сталь. – 1980. – № 6. – С. 541 – 544.
3. Образование шлаков в процессе продувки /Г. Тромель, Э.Герль// Производство стали с применением кислорода. Перевод с англ., фран., немец. – М.: Металлургиздат, 1966 – С. 258 – 273.
4. Руднева А.В., Кожевников И.Ю. Фазовый состав мартеновских и синтетических фосфатшлаков. // Известия АН СССР, ОТН. Металлургия и топливо. – 1961. – № 3. – С. 10 – 16.

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАЗУПОРЯДОЧЕННОЙ ЗОНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ

ДЕЕВ В.Б., СЕЛЯНИН И.Ф., ЦЕЦОРИНА С.А., ПРОХОРЕНКО А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Известно, что различные внешние воздействия на металлические расплавы приводят к изменению их структурного состояния. Оптимизация режимов внешних воздействия невозможна без расчета параметров, ответственных за структурные перестройки в расплавах.

В соответствии с кластерной моделью жидких расплавов основными структурными составляющими жидкости считаются отдельные разобщенные кластеры, окруженные трехмерной сеткой разупорядоченной зоны, обладающей хаотической атомной структурой. Внутренняя атомная структура кластеров близка к структуре исходного твердого тела. Характерный размер кластера ( $r_{\text{кл}}$ ) имеет нанопорядок, который не превышает размеры критического зародыша при дальнейшей кристаллизации расплава. По данной модели плавление сопровождается распадом твердого тела на кластеры, кристаллизация – ассоциацией кластеров в зародыши и далее в кристаллы.

Кластеры, как твердотельные образования имеют зонную структуру электронного энергетического спектра. На рисунке 1 показана условная зонная схема трех взаимодействующих объектов, возникающих при плавлении и кристаллизации.

Работа выхода электрона из конденсированной фазы определяется соотношением:

$$W = e\varphi = V_0 - \bar{E}_f,$$

где  $V_0$ ,  $\bar{E}_f$  – минимальная потенциальная энергия и энергия Ферми электронов, соответственно.

В модели свободных электронов

$$\bar{E}_f = \frac{h^2}{2m} \left( \frac{3N}{8\pi V} \right)^{2/3}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса электрона;

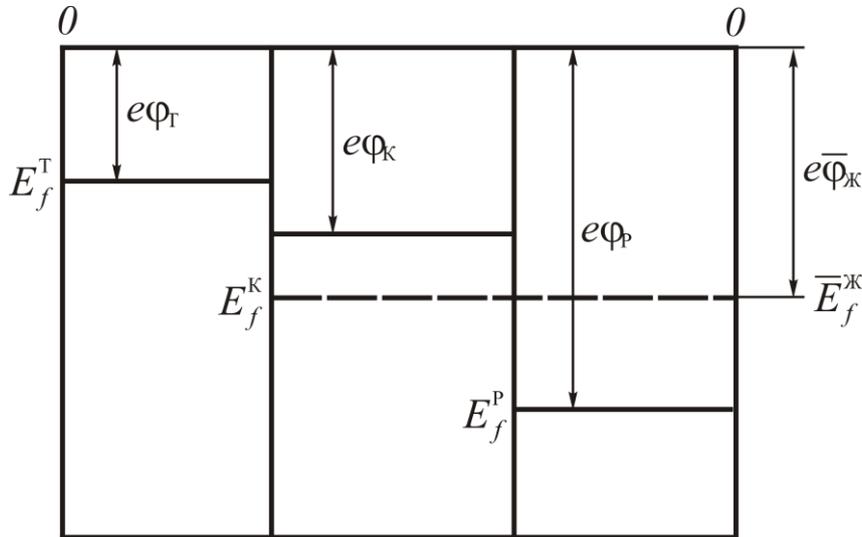
$h$  – постоянная Планка;

$N$ ,  $V$  – число электронов в кг-моле металла и его объем.

При плавлении металлических сплавов объем увеличивается на  $\Delta V$ , следовательно, средняя работа выхода электрона из расплава с учетом (1) также увеличивается. Разность работ выхода  $\Delta \bar{W}_{\text{ТЖ}} = \bar{W}_{\text{Т}} - \bar{W}_{\text{Ж}}$  равна при  $V_0^{\text{Ж}} = V_0^{\text{Т}}$

$$\Delta\bar{W}_{ТЖ} = e(\phi_T - \phi_{Ж}) = -(E_f^T - E_f^Ж) = -\frac{h^2}{2m} \left(\frac{3N}{8\pi}\right)^{2/3} \left[ \left(\frac{1}{V}\right)^{2/3} - \left(\frac{1}{V+\Delta V}\right)^{2/3} \right], \quad (2)$$

где  $\Delta V$  – изменение объема при плавлении.



$E_f$  – уровень Ферми;  $e\phi$  – работа выхода электрона;  $\bar{E}_f^Ж$  – средний уровень Ферми жидкости;  $e\bar{\phi}_Ж$  – средняя работа выхода электрона из жидкости

Рисунок 1 – Зонная схема взаимодействующих твердого кристалла (индекс «т»), кластера жидкости (индекс «к»), разупорядоченной зоны жидкости (индекс «р»)

Между кластерами имеются зазоры ( $\Delta r$ ), куда попадают свободные атомы после разрыва связей с поверхностью кластера. В работе [4] по кластерной модели определена относительная величина объема разупорядоченной зоны ( $V_P$ ) по соотношению

$$V_P = \frac{3\Delta r}{2r_{кл} + \Delta r} \cdot 100\% . \quad (3)$$

Следуя идеологии кластерной модели, необходимо определить вместо числа разорванных связей число ( $n$ ) полностью свободных атомов расплава, которые находятся в межкластерном пространстве. Их относительная доля ( $g_n$ ) определяется из простого соотношения

$$\frac{n}{N_0} \Delta H_{кип} = \Delta H_{пл}, \quad (4)$$

где  $N_0$  – число Авогадро;

$\Delta H_{кип}$ ,  $\Delta H_{пл}$  – атомные теплоты кипения и плавления металлов, Дж/моль.

Тогда

$$g_n = \frac{n}{N_0} = \frac{\Delta H_{III}}{\Delta H_{KIII}} \cdot 100\% . \quad (5)$$

В таблице 1 приведены расчеты  $V_p$  по (3) и  $g_n$  по (5) для некоторых элементов. Данные расчетов показывают явное хорошее соответствие между  $V_p$  и  $g_n$ .

Таблица 1 – Параметры разупорядоченной зоны для металлов

Металл	Sb	Cu	Au	Zn	Cd	Pb	Ni	Al	Li	Bi	Fe
$V_p$ , % [4]	5	4,75	5,1	6,0	3,9	2,95	5,6	4,65	3,3	5,0	4,7
$g_n$ , % (5)	9,9	3,87	3,44	5,58	5,6	2,48	4,08	3,28	1,9	5,17	3,3

Предложенная методика определения  $g_n$  может быть применима для расчетов структурных параметров металлического расплава, необходимых для оптимизации температурных режимов плавки и интенсификации различных внешних воздействий, приводящих к изменению микронеоднородного состояния расплава.

УДК 621.746

## **ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СПЛАВА АК7Ч ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Деев В.Б., Селянин И.Ф., Башмакова Н.В., Прохоренко А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В работе исследовали механические свойства сплава АК7ч с различным содержанием железа после обработки электрическим током при кристаллизации. Обработку осуществляли по оптимальным параметрам (определенная предварительно плотность тока) с помощью специальной установки, сконструированной на кафедре литейного производства СибГИУ, непосредственно в литейной форме.

Результаты влияния обработки расплава электрическим током на механические свойства сплава АК7ч: временное сопротивление разрыву  $\sigma_B$  (МПа), относительное удлинение  $\delta$  (%) и твердость ( $HV$ , МПа), представлено в таблице 1.

Из анализа полученных данных видно, что при обработке электрическим током сплава АК7ч наблюдается увеличение показателей прочности и пластичности. При сравнении обработанного сплава с исходным выявлено повышение  $\sigma_B$  на 5 – 8 %;  $\delta$  – на 30 – 49 %,  $HV$  – на 5 – 13 %.

Таблица 1 – Механические свойства сплава АК7ч до и после обработки электрическим током (средние значения)

Содержание железа, % масс.	Плотность тока $j$ , А/м <sup>2</sup>	Механические свойства		
		$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$HB$ , МПа
0,52	–	171	2,6	540
	$(1,5-1,7) \cdot 10^5$	184	4,5	600
0,71	–	174	2,4	550
	$(1,5-1,7) \cdot 10^5$	183	4,7	620
1,05	–	173	2,3	570
	$(1,5-1,7) \cdot 10^5$	187	4,2	610
1,25	–	150	1,4	590
	$(1,5-1,7) \cdot 10^5$	162	2,0	620
1,48	–	141	0,9	590
	$(1,5-1,7) \cdot 10^5$	152	1,3	630
2,06	–	130	0,5	610
	$(1,5-1,7) \cdot 10^5$	139	0,9	660

В работе также проводился анализ микроструктуры силуминов в исходном состоянии и обработанных электрическим током в процессе кристаллизации. Обработка расплава электрическим током сопровождалась увеличением доли выделений эвтектики, измельчением дендритов  $\alpha$ -твердого раствора, измельчением выделений и более равномерным распределением железосодержащих фаз. В целом, обработка электрическим током регулирует размер и количество отдельных структурных составляющих сплавов, приводит к измельчению зерна сплава АК7ч.

УДК 621.746

## МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РАСПЛАВЫ

Деев В.Б., Селянин И.Ф., Цецорина С.А.,  
Кольчурина И.Ю., Приходько О.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время известны следующие способы внешних воздействий на металлические расплавы, приводящие к модифицированию структуры – обработка электрическим током, магнитными полями, ультразвуком, упругими колебаниями посредством низкочастотной вибрацией и т.д. Проблема широкого применения данных технологий состоит в основном в сложности и дороговизне необходимого оборудования, а также в адаптации к существующему в условиях конкретного производства технологическому

процессу. Тем не менее, внешние воздействия на расплавы с целью повышения качества получаемых литейных сплавов представляют определенную перспективу и нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Все способы воздействия на расплавы в основном подразделены на две группы – воздействие на расплавы в процессе плавки и воздействие на расплавы в процессе заливки и кристаллизации в литейные формы или изложницы. На кафедре литейного производства СибГИУ одним из разрабатываемых научных направлений является разработка и оптимизация внешних воздействий на металлические расплавы для повышения качества литья. В настоящее время на кафедре разработаны теоретические и технологические основы влияния вибрации [1], продувки инертными газами [2], высокотемпературного перегрева [3], электрического тока [4], магнитного поля [5] на металлические расплавы с целью получения модифицированных черных и цветных литейных сплавов с заданными свойствами и структурой.

В данной работе представлены некоторые положения по разработке механизма модифицирующего влияния внешних воздействий (высокотемпературного перегрева расплава во время плавки [3] и обработки расплава магнитным полем при заливке в литейную форму [5]) на сплавы алюминия с кремнием.

Известно, что литые сплавы системы алюминий-кремний кристаллизуются с образованием грубоигольчатой эвтектики, первичные кристаллы кремния растут в форме пластин с развитыми гранями, что приводит к охрупчиванию, которое усиливается с ростом содержания кремния в сплаве. Модифицирование расплава (применение элементов-модификаторов, внешних воздействий) позволяет получать сплавы с необходимыми эксплуатационными свойствами, что достигается измельчением структурных составляющих литого сплава:  $\alpha$ -твердого раствора, первичных кристаллов кремния и эвтектики.

Модифицирующее влияние внешних воздействий возможно описать с привлечением термодинамических и кинетических представлений о процессе кристаллизации.

При обработке расплавов Al–Si внешними воздействиями скорость диффузии атомов Al и Si может уменьшиться за счет образования в расплаве виртуальных связей между компонентами расплава. Причем под виртуальными нужно понимать связи, время существования которых составляет  $\approx 10^{-11}$  с, что всего на порядок выше времени перескока атомов. Полное время движения атома при перескоке из одного положения в соседнее увеличивается и становится равным

$$\tau = \tau_0 + \Delta\tau, \quad (1)$$

где  $\Delta\tau = \frac{\hbar}{\Delta H}$  – время жизни виртуального состояния связи;

$\hbar$  – постоянная Планка;

$\tau_0$  – время перескока без образования виртуальных связей;

$\Delta H = H_{\text{кр}} - H_{\text{вирт}}$  – разность энтальпий связи атомов маточного раствора с дисперсными частицами, образовавшимися после обработки расплава внешними воздействиями.

Так как расстояние между соседними позициями диффундирующего атома ( $\Delta l$ ) остается постоянным, то средняя скорость диффузии

$$V = \frac{\Delta l}{\tau_0 + \Delta \tau}$$

уменьшается по сравнению с исходной.

Скорость диффузии в направлении градиента концентрации  $\frac{\partial C}{\partial x}$  по первому закону Фика равна

$$V = D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии.

При постоянном значении  $\frac{\partial C}{\partial x}$  уменьшение  $V$  в соответствии с (2) приводит к уменьшению  $D$ .

$$D = \frac{V}{\frac{\partial C}{\partial x}} = \frac{\Delta l}{\frac{\partial C}{\partial x}} \cdot \frac{1}{\tau_0 + \Delta \tau} = \text{const} \left( \frac{1}{\tau_0 + \frac{\hbar}{\Delta H}} \right). \quad (3)$$

Чем меньше  $\Delta H$ , тем эффективнее дисперсные частицы, образовавшиеся после обработки расплава внешними воздействиями, взаимодействуют с атомами Al или Si в интервале кристаллизации; тем больше они тормозятся при диффузионном перемещении дисперсными частицами, и тем меньше будет их коэффициент диффузии.

Виртуальные связи интерметаллидного типа образуются на фронте растущих кристаллов  $\alpha$ -фазы или кремния в области повышенной концентрации всех примесей раствора. Эта область повышенной концентрации атомов примесей и дисперсных частиц образует на поверхности растущих кристаллов пленку или мембрану с низкой проницаемостью маточных атомов от основного расплава к кристаллу. По такому механизму дисперсная частица будет действовать при  $H_{\text{вирт}} \leq H_{\text{кр}}$ . Если  $H_{\text{вирт}} > H_{\text{кр}}$ , то  $\Delta H < 0$  и виртуальный комплекс превращается в инородное ультрадисперсное включение (УДВ), которое может быть эффективным зародышем для кристаллизующейся фазы, эффективность его возрастает с уменьшением  $\Delta H$ , т.е. при условии  $H_{\text{вирт}} \geq H_{\text{кр}}$ . Это означает, что виртуальные и основные кристаллические связи практически равноценны и частицы, образовавшиеся чуть выше температуры солидус ( $T_s$ ), будут способствовать гетерогенной кристаллизации.

Так как процессы теплопроводности и диффузии в газах и жидкостях

определяются одним и тем же механизмом, то есть явления подобны как в ламинарном так и в турбулентном режимах [6], то для процессов теплопередачи в ламинарном режиме или в неподвижной среде число Нуссельта определяется выражением

$$\text{Nu}_T = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda_c}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;

$\lambda_c$  – теплопроводность среды;

$d$  – характерный геометрический размер.

Для процесса массопередачи аналогичный диффузионный критерий равен

$$\text{Nu}_d = \frac{\beta \cdot d}{D}, \quad (5)$$

где  $\beta$  – коэффициент массоотдачи;

$D$  – коэффициент диффузии.

Процесс теплопередачи описывает число Прандтля

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{a}, \quad (6)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость;

$a$  – температуропроводность,  $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ ;

$c$  и  $\rho$  – теплоемкость и плотность среды.

Для процессов диффузии вводится аналогичное число Шмидта

$$\text{Sc} = \frac{\nu}{D}. \quad (7)$$

Связь процессов диффузии и теплопроводности осуществляется через число Льюиса

$$\text{Le} = \frac{\text{Pr}}{\text{Sc}} = \frac{D}{a}. \quad (8)$$

При постоянном значении числа  $\text{Le}$ , чем меньше значение  $a$ , тем меньше  $D$  и, наоборот. Дисперсные частицы действуют как модификаторы, практически не влияют на теплоемкость металла ( $C_m$ ) и плотность ( $\rho_m$ ), но оказывают значительное влияние на коэффициент теплопроводности ( $\lambda_m$ ) в сторону его уменьшения. Так как

$$a_m = \frac{\lambda_m}{C_m \cdot \rho_m},$$

то с уменьшением  $\lambda_m$ , а, следовательно, и  $a_m$ , при  $C_m \rho_m = \text{const}$ , в соответствии с (8), уменьшается коэффициент разделительной диффузии на фронте кристаллизации.

Уменьшение  $\lambda_m$  приводит к уменьшению теплоаккумулирующей способности металла  $b_m = \sqrt{\lambda_m C_m \rho_m}$ , и (с учетом упрощенного выражения квадратного корня для кристаллизации

$$\varepsilon = K\sqrt{\tau}, \quad (9)$$

где  $K$  – константа затвердевания, определяемая по формуле:

$$K = \sqrt{\frac{2\lambda_\phi \lambda_m}{(\lambda_\phi + b\lambda_m) \cdot b \cdot B}}, \quad (10)$$

где  $\lambda_m$  и  $\lambda_\phi$  – теплопроводность металла и формы соответственно;

$b$  – постоянная, характеризующая увеличение толщины прогретого слоя формы по отношению к толщине закристаллизовавшейся корочки;

$B$  – коэффициент, определяемый по формуле:

$$B = \frac{C_\phi \rho_\phi (\bar{T}_\phi - T_\phi^0)}{T_{кр} - T_\phi^0}, \quad (11)$$

где  $C_\phi$  – теплоемкость формовочной смеси, Дж/(кг·К);

$\bar{T}_\phi$  – среднее значение температуры прогретого слоя формы, °С;

$\rho_\phi$  – плотность формовочной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$T_\phi^0$  – начальная температура формы, °С;

$T_{кр}$  – температура кристаллизации, °С).

Следовательно, уменьшается константа затвердевания, а, значит, и увеличивается полное время затвердевания ( $\tau_n$ ) обработанных внешними воздействиями сплавов. Последнее утверждение следует из формулы (9), после преобразования которой получено следующее выражение

$$R = K\sqrt{\tau_n} \quad \text{или} \quad \tau_n = \frac{1}{K^2} R^2. \quad (12)$$

где  $R$  – приведенный размер отливки.

Замедление скорости разделительной диффузии при модифицировании увеличивает переохлаждение расплава  $\Delta T = T_L - T_{нкp}$ , где  $T_{нкp}$  – температура начала образования зародышей кристаллизации.

С увеличением  $\Delta T$  увеличивается скорость гомогенного и гетерогенного образования зародышей в соответствии с выражением [7]

$$I = K_1 \exp \left[ -\frac{\Delta T_{кр}^2 \sigma^3}{\Delta T^2} \right], \quad (13)$$

где  $K_1$ ,  $A$  – постоянные;

$T_{кр}$  – температура кристаллизации;

$\sigma$  – поверхностная энергия границ раздела фаз.

Увеличение  $I$  и уменьшение коэффициента разделительной диффузии  $D$  приводит к измельчению микроструктуры обработанных внешними воздействиями сплавов.

В таблице 1 приведены относительная доля твердой фазы ( $m_0$ ), выпадающей вблизи температуры солидус и полное время затвердевания ( $\tau_{п}$ ) залитого в песчано-глинистую форму сплава АК7ч, приготовленного по следующим вариантам: 1) исходный (без внешних воздействий); 2) с использованием высокотемпературного перегрева при плавке (температура перегрева – 1010...1020 °С, выдержка – 9...11 мин по рекомендации [3]); 3) с использованием магнитного поля при заливке (индукция магнитного поля составляла  $B_1 = 0,4...0,5$  Тл при использовании методики [5]); 4) с использованием в комплексе высокотемпературного перегрева при плавке и магнитного поля при заливке по режимам в соответствии с вариантами 2 и 3. Данные результаты, которые однозначно трактуются с вышеуказанных позиций, были получены с помощью дифференциально-термического анализа, проведенного по методике [8]. Исследованные внешние воздействия на расплавы способствуют уменьшению скорости разделительной диффузии вблизи температуры ликвидус и смещению процесса кристаллизации в область более низких температур, поэтому для обработанных сплавов относительное количество твердой фазы, образовавшейся вблизи температуры солидус, возрастает по отношению к базовому сплаву.

Таблица 1 – Параметры кристаллизации сплава АК7ч (средние значения по двум образцам в каждой из трех плавки каждого варианта)

Вариант	Способ обработки расплава	Параметры кристаллизации	
		$\tau_{п}$ , с	$m_0$ , %
1	Исходный (без внешних воздействий)	53	32
2	Высокотемпературный перегрев	67	36
3	Магнитное поле	64	37
4	Высокотемпературный перегрев + магнитное поле	73	40

Следует заметить, что из всех внешних воздействий особую перспективу представляет высокотемпературный перегрев расплавов, проведение которого, в отличие от остальных способов обработки, не требует дополнительного оборудования. На его основе разработан ряд технологий режимов плавки – ВТОР, ТВО, ТСО и т.д. Многочисленными экспериментальными результатами отечественных и зарубежных исследователей доказано, что данные технологии позволяют значительно снизить микронеоднородность расплава, что имеет существенное значение при использовании повышено-

го количества низкосортных материалов при плавке, и способствуют формированию при кристаллизации более совершенной структуры и повышенным механическим свойствам получаемых сплавов.

Необходимо подчеркнуть, что предложенный в данной работе механизм модифицирующего влияния внешних воздействий на кристаллизацию алюминиевых сплавов, в принципе, универсален, и подходит для описания влияния добавок различных элементов-модификаторов на процесс кристаллизации. Отличие состоит в том, что скорость диффузии атомов Al и Si уменьшается не за счет образования виртуальных связей между компонентами расплава, как в случае обработки расплава высокотемпературным перегревом или магнитным полем, а за счет образования виртуальных связей компонентов расплава с модифицирующими элементами (например, если модификаторами алюминиевых сплавов являются бор и фосфор – то виртуальные связи будут типа  $B_2Al$ ,  $AlP$  и др.). Так, в работе [9] рассмотрено влияние модифицирующих присадок на основе шлака синтетического силумина на процесс кристаллизации сплавов АК7ч, АК9пч, АК12 с позиций вышеприведенного механизма.

#### Библиографический список

1. Морин С.В. Комплексное исследование вибрационного воздействия на кристаллизацию и свойства отливок из алюминиевых сплавов. Автор-дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, – 2005. – 22 с.
2. Математическая модель продувки жидкого металла инертными газами / И.Ф. Селянин, А.Н. Дробышев, В.Б. Деев и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 2004. – № 8. – С. 31 – 34.
3. Деев В.Б. Получение герметичных алюминиевых сплавов из вторичных материалов. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 218 с.
4. Влияние электрического тока на кристаллизацию алюминиевых сплавов, содержащих железо / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, Н.В. Башмакова и др. // Литейщик России. – 2007. – № 8. – С. 12 – 15.
5. Модифицирующая обработка сплавов магнитным полем / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.А. Цецорина, А.В. Прохоренко // Литейщик России. – 2008. – № 3. – С. 23 – 24.
6. Франк-Каменецкий А.Ф. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987. – 502 с.
7. Флемингс М. Процессы затвердевания. – М.: Мир, 1977. – 423 с.
8. Деев В.Б., Дегтярь В.А., Селянин И.Ф. Комплексный контроль качества литейных сплавов // Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сборник научных трудов. Вып. 18 – Москва-Новокузнецк: ГОУ ВПО «СибГИУ», 2007. – С. 82 – 85.
9. Кольчурина И.Ю., Селянин И.Ф. К вопросу кристаллизации модифицированных алюминиево-кремниевых сплавов // Литейщик России. – 2007. – № 8. – С. 25 – 27.

## РАСЧЕТ ДОЛИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПРИ ОСТАНОВКЕ ПОТОКА РАСПЛАВА В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ

ДЕЕВ В.Б., СЕЛЯНИН И.Ф., ОЗНОБИХИНА Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Известно, что высокая жидкотекучесть сплава обеспечивает получение плотного литого изделия. Следовательно, наблюдается определенная взаимосвязь между жидкотекучестью сплава и конечной пористостью отливки. По существующим представлениям, жидкотекучесть сплава зависит от количества (относительной доли) твердой фазы, выпадающей вблизи температуры солидус. Зная относительную долю твердой фазы, можно определить расчетным путем параметр жидкотекучести (и наоборот), а также вычислить пористость сплава.

Для решения данной задачи рассмотрим течение металла по каналам литейной формы с учетом его кристаллизации в устье литникового хода.

Без учета перегрева металла над линией ликвидус уравнение теплового баланса для элементарной длины канала  $dx$  литейной формы запишется

$$\psi_{cx} \cdot L_{кр} \cdot \pi r^2 \cdot dx \cdot \rho_S = \alpha \cdot (T_L - T_{\Phi}) \cdot 2\pi r \cdot dx \cdot \tau_{\Pi}, \quad (1)$$

где  $\psi_{cx}$  – постоянная для данного сплава, равная относительной доли твердой фазы, при котором металл перестает течь;

$L_{кр}$  – теплота кристаллизации;

$r = (D/2)$  – радиус канала;

$D$  – диаметр канала;

$\pi$  – число «пи»;

$\rho_S$  – плотность металла;

$\alpha$  – коэффициент теплообмена;

$T_L$  и  $T_{\Phi}$  – температуры ликвидус и формы, соответственно;

$\tau_{\Pi}$  – полное время течения металла до перехвата струи.

Слева в (1) стоит выражение для тепла кристаллизации, отданное металлом, объемом  $dV = \pi r^2 dx$ , справа – выражение для тепла, отданное форме на элементе площади  $dS = 2\pi r dx$ .

Из выражения (1) определяем время течения металла до перехвата струи

$$\tau_{\Pi} = (\psi_{cx} / 2) \cdot (L_{кр} \cdot \rho_S \cdot r) / (\alpha \cdot (T_L - T_{\Phi})). \quad (2)$$

Общая длина канала, остановленного вследствие зарастания входа в канал (то есть параметр жидкотекучести) равна

$$L = \tau_{\Pi} \cdot v = (\psi_{cx} / 2) \cdot (L_{кр} \cdot \rho_S \cdot r \cdot v) / (\alpha \cdot (T_L - T_{\Phi})), \quad (3)$$

где  $v$  – скорость движения жидкого металла по каналу литейной формы.

Жидкий металл течет до остановки как ньютоновская жидкость. Следовательно

$$v = \mu \cdot (2 \cdot g \cdot H)^{1/2},$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода литниковой системы;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $H$  – статический напор металла.

Это означает, что при  $H = \text{const}$  и  $\mu = \text{const}$  длина залитого канала  $L$  зависит только от доли твердой фазы  $\psi_{\text{сх}}$  при остановке потока.

Доля жидкой фазы после заливки формы будет равна

$$\beta = 1 - \psi_{\text{сх}},$$

а удельная доля пор в теле отливки составит

$$P = \varepsilon_v \cdot \beta = \varepsilon_v \cdot (1 - \psi_{\text{сх}}), \quad (4)$$

где  $\varepsilon_v$  – коэффициент усадки при затвердевании.

Таким образом, с увеличением  $\psi_{\text{сх}}$  пористость уменьшается, а жидкотекучесть, наоборот, возрастает.

Для подтверждения вышеприведенных аналитических расчетов были проведены экспериментальные исследования на ряде цветных сплавов (силумины, оловянные и алюминиевые бронзы, сплавы системы Al–Cu), а также чугунах нескольких марок. Экспериментальные данные получали с помощью дифференциально-термического анализа: определяли относительную долю твердой фазы в расплаве ( $\psi_{\text{сх}}$ ) по кривым тепловых эффектов. Расчетные данные получали, используя формулу (3), в которой выражали  $\psi_{\text{сх}}$ , и подставляли в нее наряду с табличными данными значение жидкотекучести сплава, определенного по технологической пробе. После определения  $(\psi_{\text{сх}})_{\text{ЭК}}$  и  $(\psi_{\text{сх}})_{\text{РАСЧ}}$  вычисляли по формуле (4) пористость  $P$ .

Расчетные и экспериментальные данные показали хорошую сопоставимость.

УДК 621.771

## **БЕСКИСЛОТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОВОЛОКИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ДИАМЕТРОМ 2,5 – 1,0 ММ**

Тяпков М.А., Метерский В.Я., Обухов Г.В.

***ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»  
г. Новокузнецк***

Проволока общего назначения по ГОСТ 3282-74 изготавливается в ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» волочением катанки диаметром 6,5 мм из низкоуглеродистой стали (ГОСТ 3136-94). Традици-

онная технология включает в себя операцию удаления окалины с катанки путем травления в водном растворе соляной кислоты. Кислотное травление с целью устранения вредного воздействия на окружающую среду заменено на механическое удаление окалины, которое включает следующие операции:

- сушка садок мотков катанки в баковых сушилах при температуре 70 – 130 °С в течение 30 – 10 мин;

- грубая очистка катанки от окалины в двухплоскостном окалиноломателе;

- тонкая очистка катанки от окалины за два прохода через вращающийся барабан с дробью-сечкой.

Степень механической очистки катанки от окалины составляет 85 – 95 %. Для волочения проволоки из катанки, имеющей грубый микрорельеф поверхности с остаточной окалиной, применяется технологическая смазка, содержащая натрий-кальциевые мыла и известковый наполнитель. При волочении проволоки на переходах с диаметром менее 3,5 мм наблюдалось нарушение стабильности волочения. Замеры температурного режима волочения прибором КСП-4, оснащенный хромель-алюмелевой термопарой, зачеканенной в медную оправку для улучшения теплопередачи, показали, что поверхность проволоки на выходе из волоки на первом блоке стана составляет 90 – 110 °С, на каждом последующем блоке повышается на 20 – 30 °С и на переходах с диаметром менее 3,5 мм может повыситься до 200 – 230 °С. Температура выше 180 °С резко снижает вязкость технологической смазки, что приводит к переходу от гидродинамического к граничному трению между волокой и проволокой. Для определения причины нарушения температурного режима волочения проведены визуальные исследования микрорельефа поверхности металла на микроскопе ММИ-2. Результаты исследования показали, что в отличие от проволоки из заготовки с травленной поверхностью, имеющей множество равномерно расположенных мелких впадин, микрорельеф поверхности проволоки из механически очищенной заготовки имеет множественные мелкие продольные риски и углубления с остаточной окалиной. Неблагоприятный микрорельеф и наличие остаточной окалины приводят к менее стабильному удержанию смазки в очаге деформации и повышенным энергозатратам на преодоление сил трения, что является причиной более высокой температуры на контактной поверхности проволоки и волоки. Для снижения отрицательного воздействия на волочение проволоки, очищенной от окалины по бескислотной технологии, проведена работа по повышению качества механической очистки катанки и совершенствованию маршрутов волочения проволоки.

Качество механической очистки катанки от окалины в большой степени зависит от удлинения катанки при протягивании через роликовый окалиноломатель. Более высокая степень деформации благоприятно сказывается на качестве очистки поверхности катанки от окалины, однако она может приводить к обрывам катанки по месту сварки. Величину относительного удлинения можно регулировать изменением амплитуды изгиба катанки при

настройке окалиноломателя. Испытания на стане SKET 5/550 показали, что оптимальные значения относительного удлинения катанки, обеспечивающие стабильный процесс волочения, находятся в диапазоне 8 – 10 %.

Для изготовления проволоки общего назначения диаметрами 2,5 – 1,0 мм была применена технология с промежуточным отжигом передельной заготовки диаметрами 5,0 – 2,5 мм в проходной роликовой печи с защитной атмосферой. Режимы обжати, обеспечивающие рациональные температурно-скоростные условия волочения передельной и готовой проволоки, определили по методике, основанной на принципе одинакового относительного изменения обратной величины диаметра. Механические свойства готовой проволоки соответствовали при этом требованиям ГОСТ 3282–74.

Проволока общего назначения диаметрами 2,5 – 1,8 мм служит заготовкой для производства стальной плетеной сетки с размерами ячеек 20×20, 35×35, 45×45, 60×60 мм по ГОСТ 5336-80 и гвоздей диаметрами 2,5 – 1,0 мм по ГОСТ4028-63. Качество стальной плетеной сетки и строительных гвоздей, изготовленных из проволоки с бескислотным травлением катанки, соответствует требованиям стандартов.

Переход на бескислотную технологию механического удаления окалины при производстве проволоки общего назначения диаметрами 2,5 – 1,0 мм позволил устранить вредное воздействие на окружающую среду соляной кислоты при сохранении требуемого уровня качества готовой продукции.

УДК 662.741.355

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ КОЛИЧЕСТВА СБРОСНЫХ ГАЗОВ УСТК С УГАРОМ КОКСА**

КОРОБЕЙНИКОВ А.П., ФИЛИН А.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Источниками появления в циркуляционном контуре установки сухого тушения кокса (УСТК) избыточных объемов газа являются: дожигание горючих компонентов в кольцевом газоходе, выделение из кокса пиролизного газа при его выдерживании в накопительной камере и частичная его газификация (угар) в верхних горизонтах камеры тушения вследствие взаимодействия с окислительными компонентами циркулирующего газа ( $O_2$ ,  $CO_2$  и водяной пар).

Настоящее исследование было предпринято с целью предварительной экспериментальной проверки данных о количестве газов, выделяющихся при термостатировании кокса в накопительной камере и его угаре в камере тушения. Согласно выполненным расчетам для блока УСТК с производительностью 70 т/ч, количество пиролизных газов (в зависимости от степени го-

товности кокса) может колебаться в пределах 395 – 790 м<sup>3</sup>/ч (или 5,6 – 11,3 м<sup>3</sup>/т). Общее количество избыточного газа за счет пириролиза в накопительной камере и угара в камере тушения (если принять его равным 0,5 %) при этом составит 2700 м<sup>3</sup>/ч (т.е. 38,6 м<sup>3</sup>/т). При количестве сбрасываемых через свечу после дымососа газов, превышающем указанную величину, можно заключить о наличии организованного (в кольцевом газоходе) или неорганизованного (например, при подсосах воздуха во время загрузки кокса в накопительную камеру) дожига горючих компонентов газа.

С целью определения количества пириролизных газов, выделяющихся при термостатировании кокса в накопительной камере, изучили количественный и качественный состав газообразных продуктов при прокаливании коксов потушенного сухим и мокрым способами.

Установка представляет собой печь прокаливания со специальным реактором, куда помещалась исследуемая проба кокса. Затем проводили нагрев навески кокса до 1050° С с выдержкой при этой температуре 0,5 ч. Количество выделяющегося газа непрерывно регистрировалось, а его состав анализировался хроматографическим способом.

Пробы валового кокса для анализа отбирались с батарей, причем сухо потушенный кокс был взят с конвейера после УСТК, а кокс мокрого тушения с рампы. При этом установлено, что при повторном нагреве кокса мокрого тушения в среднем выделяется 10,4 м<sup>3</sup>/т газообразных продуктов, а сухого – лишь 3,7 м<sup>3</sup>/т. Разница в объемном их выходе составила 3,0 – 9,3 м<sup>3</sup>/т (в среднем 6,7 м<sup>3</sup>/т), а в массовом – 0,37 – 0,70 % (в среднем 0,53 %). Основными компонентами выделяющихся пириролизных газов являются СО и Н<sub>2</sub>, суммарное количество которых достигает ~ 88,4 % (таблица 1).

Таблица 1

Точка отбора	Влагосодержание, г/м <sup>3</sup>	Состав газа, % объемн.			
		СО <sub>2</sub>	СО	О <sub>2</sub>	Н <sub>2</sub>
После дымососа	6,2	15,7	4,5	0,8	0,7
Зона косых ходов	2,3	15,6	4,2	0,7	0,7

Данные этого эксперимента хорошо согласуются с результатами расчетов, приведенных выше, согласно которым количество пириролизных газов, выделяющихся в накопительной камере, находится в пределах 5,6 – 11,3 м<sup>3</sup>/т.

Для определения роли кокса, теряемого за счет его газификации в камере тушения, и количества образующихся при этом избыточных газов, в промышленных условиях изучили состав циркулирующего газа и его влагосодержание перед поступлением и непосредственно после выхода из зоны тушения (в основании косых ходов). Установлено, что в условиях УСТК АлКХЗ практически не происходит газификация кокса за счет его взаимодействия с СО<sub>2</sub>, по-видимому, вследствие недостаточного уровня температур в верхних горизонтах камеры тушения. Об этом свидетельствует практиче-

ски неизменный состав циркулирующего газа (таблица 2). Потери кокса за счет его газификации в зоне тушения УСТК составляют 0,35 %.

Таблица 2 – Состав пиролизного газа, полученного при прокаливании кокса в лабораторных условиях

Компоненты	Кокс сухого тушения				Кокс мокрого тушения				Прогнозный пиролизный газ, выделяющийся при сухом тушении			
	выход			со- став, % об.	выход			со- став, % об.	выход			со- став, % об.
	кг/т	м <sup>3</sup> /т	% масс		кг/т	м <sup>3</sup> /т	% масс		кг/т	м <sup>3</sup> /т	% об- ъем масс	
CO <sub>2</sub>	0,75 9	0,38 6	0,07 6	10,31	2,03 3	1,034	0,200	9,90	1,27 3	0,64 8	0,13	9,67
CO	1,14 8	0,91 8	0,11 5	24,52	4,10 0	3,280	0,410	31,40	2,95 2	2,36 2	0,29	35,25
H <sub>2</sub>	0,07 9	0,88 0	0,00 8	23,51	0,35 1	3,904	0,035 0	37,40	0,27 2	3,02 4	0,03	45,13
CH <sub>4</sub>	-	-	-	-	0,02 5	0,035	0,003	0,30	0,02 5	0,03 5	0,003	0,52
N <sub>2</sub>	1,95 2	1,56 0	1,19 5	41,66	2,74 2	2,192	0,27	21,00	0,79 0	0,63 2	0,079	9,43
ИТОГ О	3,93 8	3,74 4	0,39 4	100,0	9,25 1	10,44 5	0,930	100,0	5,31 2	6,70 1	0,535	100,0

Таким образом, общее количество избыточного газа, которое образуется в условиях УСТК АКХЗ за счет потерь кокса при его термостатировании в накопительной камере и его угара в камере тушения, составило примерно 19,8 м<sup>3</sup>/т или 1380 м<sup>3</sup>/ч.

Выше указывалось, что при осуществлении на АКХЗ опытного режима эксплуатации УСТК, при котором в накопительной камере создавалось положительное давление, исключался дожиг горючих компонентов газа в кольцевом газоходе и эвакуация всего избыточного газа осуществлялась через свечу накопительной камеры, общее его количество составило ~ 2000 м<sup>3</sup>/ч (при нормальных условиях). Близость приведенных цифр (1380 и 2000 м<sup>3</sup>/т) и сопоставимость расчетных и экспериментальных результатов указывает на правильность осуществленного методического подхода при определении источников возникновения избыточных газов при сухом тушении и их долевого участия.

Характерно, что количество избыточных газов, выводимых из циркуляционного контура УСТК, напрямую связано с общим угаром кокса. Так, при количестве сбросных газов ~ 2000 м<sup>3</sup>/ч, достигнутом при опытном режиме работы УСТК, угар кокса также был минимальным (0,73 %), тогда как при производственном режиме эксплуатации и объеме сбросных газов, рав-

ном 8000 м<sup>3</sup>/ч, угар кокса составил 1,44 %.

С целью возможного уменьшения количества вредных выбросов УСТК в атмосферу, необходимо продолжить исследования в направлении определения количества и состава избыточного газа, образующегося на различных стадиях процесса сухого тушения кокса, в зависимости от степени его готовности, производительности камеры, температурных условий, состава циркулирующего газа.

УДК 504. 03: 662. 74

## **СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ УСТК ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ИЗБЫТОЧНОГО ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО ГАЗА \***

КОРОБЕЙНИКОВ А.П., ФИЛИН А.Н., УШАКОВ Е.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Наиболее весомый вклад в выбросы вредных компонентов на УСТК вносит избыточный циркулирующий газ, сбрасываемый через свечу после дымососа. При утилизации сбросного циркулирующего газа выбросы в атмосферу оксида углерода и пыли могли быть значительно сокращены.

Существующий режим эксплуатации УСТК по соображениям взрывобезопасности предусматривает поддержание количеств горючих компонентов в циркулирующем газе на определённом допустимом уровне: СО – не более 8 – 12 %, Н<sub>2</sub> – не более 3 – 5 % (максимум – 8 %), СН<sub>4</sub> – не более 0,5 – 1,0 % [1]. Указанный уровень достигается за счёт дожига газов в кольцевом газоходе УСТК или их разбавления техническим азотом. Из-за значительной забалластированности циркулирующего газа азотом, содержание которого составляет 72 – 75 % и низкого содержания горючих компонентов избыточный газ имеет малую теплоту сгорания (1250 – 1300 кДж/м<sup>3</sup>) и не представляет ценности как газообразное топливо. По этой причине, говоря об утилизации сбросных газов УСТК, следует одновременно ставить вопрос о повышении потребительской их ценности, например, посредством прекращения дожига горючих компонентов газа в кольцевом газоходе. В этом случае открываются определённые возможности использования утилизируемых газов УСТК в качестве самостоятельного топлива или в смеси с другими горючими газами, имеющимися на металлургическом комбинате (прямым или обратным коксовым, доменным или природным газом).

Исследования указанной технологии проведены на камере № 7 УСТК НТМК. Температурный и гидравлический режимы камеры мало отличались

---

\* В выполнении экспериментов принимали участие сотрудники лаборатории ОУВВ Кузнецкого филиала ВУХИНа.

от таковых при осуществлении варианта работы с глубоким дожигом газа в кольцевом газоходе (таблица 1).

Наблюдается разность на периферии камеры тушения в нижней её части, присущая обоим опытным режимам.

При отсутствии дожига горючих компонентов газа в кольцевом газоходе УСТК, количество СО в нём устанавливалось на уровне 17,3 %, а Н<sub>2</sub> – 10,0 % (таблица 2). Теплота сгорания такого газа составляла 3270 кДж/м<sup>3</sup>, что близко к теплоте сгорания доменного газа (3700 – 4000 кДж/м<sup>3</sup>).

Таблица 1 – Температурный и гидравлический режим УСТК НТМ (камера № 7)

Режим работы	Температура, °С								Давление, Па				
	после камер тушения	перед камерой тушения	на разгрузке	на 17-ом ряду кладки по периметру камеры				на 73-м ряду кладки	на дутьевой головке	перед котлом утилизатором	перед дымососом	под сводом накопительной камеры	после дымососа
				№4	№5	№6	№7						
Свеча дымососа открыта. Без дожига газа в кольцевом газоходе	753	131	118	130	93	250	97	140	127	830	—	4	2930
Свеча дымососа открыта. Подсос воздуха в кольцевой газоход через коллектор и 3 лючка	807	140	115	130	93	240	93	138	130	850	- 253	4	3170



Таблица 2 – Влияние утилизации сбросных газов УСТК на количество выбросов СО и пыли в атмосферу

Режим эксплуатации	Свеча дымососа						Свеча вентиляции			Выбросы СО через свечу дымососа одного блока тушения, т/год	Выбросы СО вентиляцией одного блока тушения, т/год	Выбросы пыли через свечу дымососа одного блока, т/год	Удельные выбросы оксида углерода, кг/т кокса		Угар кокса, %		
	Объём сбрасываемого газа, м³/ч	Концентрация пыли, г/м³	Содержание, % объёмн.					Объём отсасываемого газа, м³/ч	Содержание, % объёмн.				Свеча дымососа	Свеча вент			
			С O <sub>2</sub>	О <sub>2</sub>	С O	Н <sub>2</sub>	Н <sub>2</sub>		СО <sub>2</sub>							СО	Н <sub>2</sub>
Свеча дым.откр. Без дожига газа в кольце газоходе	5523	0,576	5,8	0,4	17,3	10,0	66,5	16705,5	0,15	0,8	0,45	0	1463	0	0	2,38	1,30
Свеча дым.откр. Подсос возд.в кольцевой газоход через коллект.	7201	0,520	12,6	0,4	7,1	3,6	76,3	16828,0	1,7	0,9	0,3	5598	1658	32,8	9,13	2,70	1,7

Объём избыточного газа, удаляемого через свечу после дымососа, снижался и составлял 5523 м<sup>3</sup>/ч против 7201 м<sup>3</sup>/ч при работе на производственном режиме. За счёт возможной утилизации указанных количеств газа и прекращении их сброса в атмосферу суммарные выбросы СО могут быть снижены до 1463 т/год (только через вентиляционную свечу) против 7256 т/год при производственном режиме (таблица 2). Характерно, что угар кокса при осуществлении данного способа несколько снизился (с 1,7 до 1,3 %), что, по-видимому, связано с меньшей газификацией кокса в верхней части камеры тушения вследствие содержания в газе СО и Н<sub>2</sub>О.

Предложенный вариант подмешивания сбросного газа свечи после дымососа в прямой коксовый газ имеет определенные преимущества и недостатки. К числу преимуществ можно отнести относительно малую удаленность от УСТК газосборника коксовой батареи и других коммуникаций прямого коксового газа (во всяком случае, до сепаратора и первичного газового холодильника). При этом не требуется, очевидно, очень тонкой очистки сбросного газа УСТК от пыли, хотя её попадание в смолу при подаче газа непосредственно в газосборник нежелательно. По-видимому, более целесообразно подавать избыточный газ в газопровод прямого коксового газа перед сепаратором, предварительно подвергая его дополнительной очистке.

Недостатками варианта являются – снижение калорийности коксового газа (согласно расчётам на 5 – 7 %), возможное повышение нагрузки (сверх проектной) на аппаратуру цеха и эффективности ряда массообменных процессов при улавливании вследствие снижения концентрации NH<sub>3</sub>, сырого бензола и др. в коксовом газе при его разбавлении.

В связи с указанными недостатками необходимо проработать применительно к условиям НТМК и другие возможные варианты использования сбросного газа УСТК. Представляется возможным, что этот газ после его тонкой очистки от пыли можно использовать, как самостоятельное газообразное топливо, а также как компонент различных газовых смесей с коксовым, доменным или природным газом в прокатных цехах комбината или в самом коксохимическом производстве для отопления коксовых батарей.

Необходимо также продолжить исследования в направлении дальнейшего возможного уменьшения количества сбросных газов УСТК и повышения их калорийности

Резерв для этого имеется, и связан он с некоторым изменением гидравлики циркуляционного контура и порядка эвакуации избыточного газа из системы.

В настоящее время при сбрасывании всего избыточного газа через свечу после дымососа в косых ходах, а также во всём объёме накопительной камеры создаётся значительное разрежение. Оно необходимо для того, чтобы поток пиролизных газов, образующихся в накопительной камере, направлялся в косые ходы и далее в кольцевой газопровод. Здесь эти газы, обогащённые СО и Н<sub>2</sub>, при наличии дожига бесполезно сгорают. Кроме того, при разрежении в накопительной камере, возможен подсос в неё воздуха, также вы-

зывающий частичное сжигание пиролизных газов и, возможно, угар кокса. Все это способствует увеличению количества избыточного газа в циркуляционном контуре и снижению его теплоты сгорания.

Опыты, проведенные на УСТК Алтайского КХЗ, показали, что при повышении давления в накопительной камере в межзагрузочный период до 100 – 150 Па и эвакуации всего избыточного газа через свечку накопительной камеры при полностью закрытой свече после дымососа можно (при отсутствии дожига газа в кольцевом газоходе) снизить количество сбросного газа примерно до 2000 нм<sup>3</sup>/ч и повысить их теплоту сгорания до 6200 кДж/м<sup>3</sup>. Осуществление такого варианта требует, однако, сооружения установки по охлаждению избыточного газа и его грубой и тонкой очистке от пыли перед его использованием, а также реализации комплекса мер, обеспечивающего взрывобезопасность объекта..

#### Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий. / М.: Металлургия, 1987. – 245с.

УДК 621.785.51.06:669.15-194.53

## **О ВЛИЯНИИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ\***

ВАЩЕНКО А.Ю., ДЖЕМЕЛА П.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Развитие современного машиностроения в значительной степени зависит от прогресса в технологии. Совершенствование технологий получения новых материалов и новых способов их обработки является одной из главных задач.

Одним из широко применяемых классов материалов являются углеродистые инструментальные стали. Действительно, инструмент, который обладает высокими физическими, механическими и химическими свойствами, имеющий низкую себестоимость производства нужен на любом технологическом предприятии поэтому очень интенсивно идет развитие и совершенствование состава и обработки инструментальных сталей [1].

Эксплуатационные свойства режущего инструмента можно повысить применением различных методов упрочнения поверхностного слоя и материала в целом: термической, химико-термической обработками, а также легированием. К большому сожалению, предпочтение отдается легированию, которое имеет два глобальных недостатка:

---

\* Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. В.К. Афанасьева.

- а) Резко увеличивает себестоимость материала;
- б) Катастрофически вредно действует на окружающую среду из-за получения легирующих элементов.

Дальнейшее усложнение химического состава инструментальных сталей большинство специалистов считают малоэффективным и более того ту-пиковым [2].

Были проведены эксперименты с целью установления влияния хими-ко-термической обработки на твердость сталей Р6М5 и У8. Химический со-став исследуемых сталей приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сталей марок У8 и Р6М5 [1]

Марка стали	Химический состав, %								
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	W
У8	0,75-0,84	0,15-0,35	≤ 0,030	≤ 0,035	0,20-0,40	≤ 0,25	≤ 0,20	-	-
Р6М5	0,80-0,88	≤ 0,5	≤ 0,025	≤ 0,035	≤ 0,4	≤ 0,4	3,8-4,4	5,0-5,5	5,5-6,5

Термическая обработка образцов заключалась в нагреве при 1000 °С с выдержкой 1 ч. в карбюризаторе на основе бондюжского и закалке с 1000 °С в холодную воду (для Р6М5 охлаждение на воздухе) – 1 цикл. После хими-ко-термической обработки определялась твердость сталей, которая приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние циклической хими-ко-термической обработки на твердость стали У8 и Р6М5

Количество циклов	Твердость, HRC					
	Р6М5			У8		
	по шлифу		поверхность образца	по шлифу		поверхность образца
	край	центр		край	центр	
Без нагрева	53	53	53	-	-	-
5	60	56	60	61	60	61
10	61	58	62	57	57	59
15	-	-	-	61	59	61

Проведенная работа указывает на перспективность применения хими-ко-термической обработки инструмента из стали Р6М5, основой которой является сталь У8.

#### Библиографический список

1. Гуляев А.П. Инструментальные стали. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975.
2. Солнцев Ю.П. Материаловедение и технология конструкционных мате-риалов: Учеб. для вузов / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, Ф. Войткун; под. ред. Ю.П. Солнцева. – М.: МИСИС, 1999. – 600 с: ил.

## ВЛИЯНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ\*

ВАЩЕНКО А. Ю., ДЖЕМЕЛА П.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Современное машиностроение предъявляет все более серьезные требования к материалам, которые применяются для изготовления режущего инструмента: относительно высокая твердость рабочей поверхности в сочетании с хорошей пластичностью, износостойкость, жаропрочность и т.д. Достигаются эти столь ценные свойства, как правило, за счет легирования, которое несет в себе множество глобальных проблем: катастрофически вредно влияет на экологию, буквально «губит на корню» все перспективы развития машиностроительных материалов, увеличивает себестоимость изделий и т.д.

Целью работы являлось изучение твердости стали 20 в зависимости от химико-термической обработки, а также поиск режимов, обеспечивающих относительно высокую твердость поверхности. Химический состав исследуемой стали приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 20\*\*

Массовая доля элементов, %, по ГОСТ 1050–88									
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	As	N	Cu
0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	≤0,040	≤0,035	≤0,25	≤0,30	≤0,08	≤0,008	≤0,30

Химико-термическая обработка заключалась в нагреве при 1000 °С с выдержкой 1 ч в карбюризаторе на основе бондюжского и закалке с 1000 °С в холодную воду (1 цикл). Твердость измеряли согласно ГОСТ 9013–59 на приборе ТКС–1М настольного типа, который по основным параметрам и нормам соответствует ГОСТ 12165–66.

В таблице 2 приведены результаты влияния многократного цементационного нагрева, проводимого на одном и том же образце.

Для получения высокой твердости рекомендуется следующий режим нагрева: 15 циклов химико-термической обработки (1 цикл – цементация 1000 °С, 1 ч в карбюризаторе на основе бондюжского + закалка 1000 °С в хо-

\* Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. В.К. Афанасьева.

\*\* Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов: справочник / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др.; под. ред. А.С. Зубченко. – Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. – 784 с: ил.

лодную воду). Данный режим нагрева обеспечивает наиболее высокие значения твердости.

Таблица 2 – Влияние циклической химико-термической обработки на твердость стали 20

Количество циклов	Твердость, HRC		
	по шлифу		поверхность образца
	край	центр	
без нагрева	-	-	-
5	53	45	54
10	53	46	55
15	63	55	63

УДК669-155.3:669.71

## **О ЛИНЕЙНОМ РАСШИРЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ\***

АГИЕНКО Н.Ю., КОПЫТЬКО А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

С развитием специального приборостроения, двигателестроения одной из важнейших проблем современной металлургии является создание легких материалов с низким коэффициентом линейного расширения (КЛР).

Небольшая плотность в сочетании с высокими механическими характеристиками, богатые сырьевые ресурсы – все это способствует широкому использованию алюминия и его сплавов для разработки новых конструкционных материалов с заданными свойствами [1].

Поэтому цель настоящей работы – показать возможность снижения КЛР технического алюминия за счет разных режимов термической обработки.

Для исследования были использованы образцы, вырезанные из чушкового алюминия А7.

Во избежание постороннего влияния материала контейнера на исследуемые дилатометрические образцы нагрев проводился в алюминиевых контейнерах с добавлением мочевины  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .

Используемый карбамид содержит 46 % азота.

Нагрев образцов проводили при 150, 200, 250, 300, 400, 500 и 600 °С в течение 10 ч с последующим охлаждением на воздухе.

При нагреве в карбамиде и дальнейшем старении на воздухе возможно

\* Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. В.К. Афанасьева.

развитие процессов взаимодействия водорода, содержащимся, в алюминии с азотом окружающей среды, в результате чего образуются продукты распада. Эти продукты армируют основу, что в конечном итоге приводит к снижению КЛР.

На рисунке 1 представлены результаты влияния нагрева в карбамиде. Видно, что нагрев в карбамиде снижают КЛР алюминия до  $\alpha = 19\text{--}20 \times 10^{-6}$  град $^{-1}$  при температурах испытания 50 – 100 °С. Такое значение КЛР обычно имеют сплавы Al–10–15% Si.

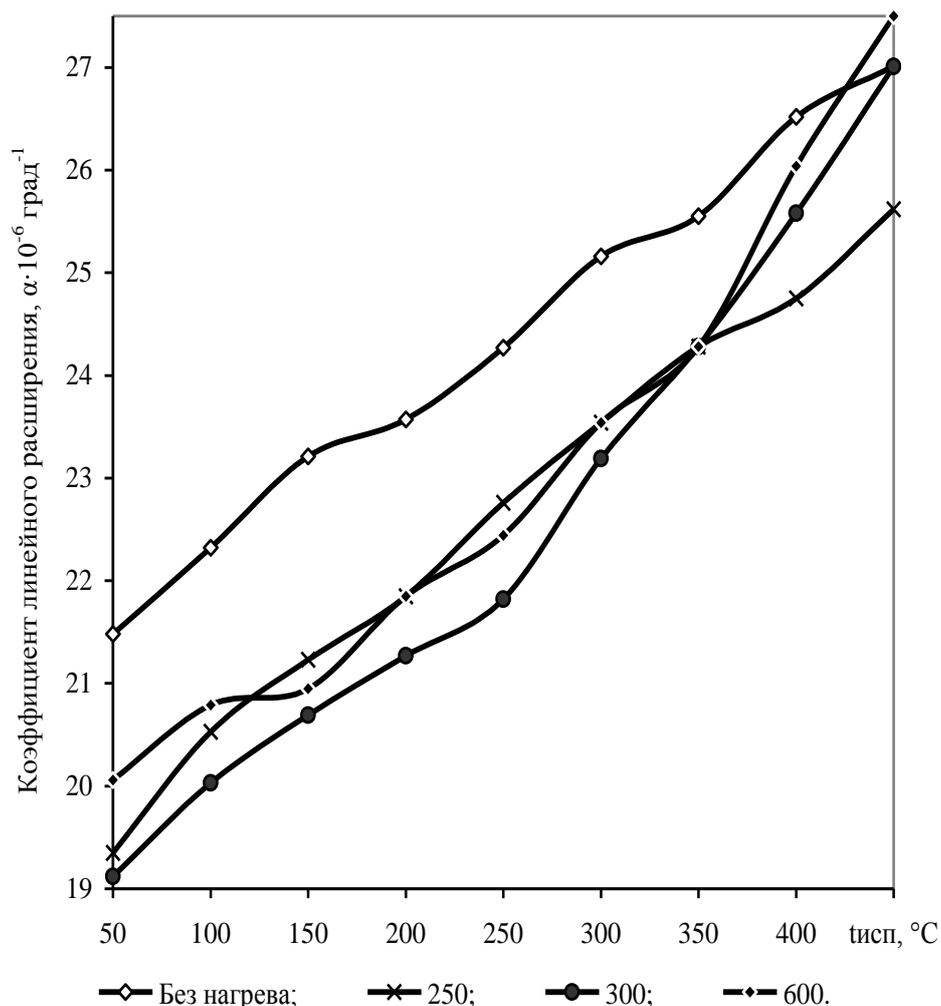


Рисунок 1 – Влияние нагрева в карбамиде ( $\tau = 10$  ч) на линейное расширение алюминия А7

При нагреве образцов при 300 °С все режимы термические обработки (нагрев на воздухе, нагрев в карбамиде, нагрев в карбамиде с последующим старением при 200 °С) понижают КЛР по сравнению с исходным, но наименьшее снижение КЛР происходит при нагреве алюминия в карбамиде во всем интервале температур испытания (рисунок 2).

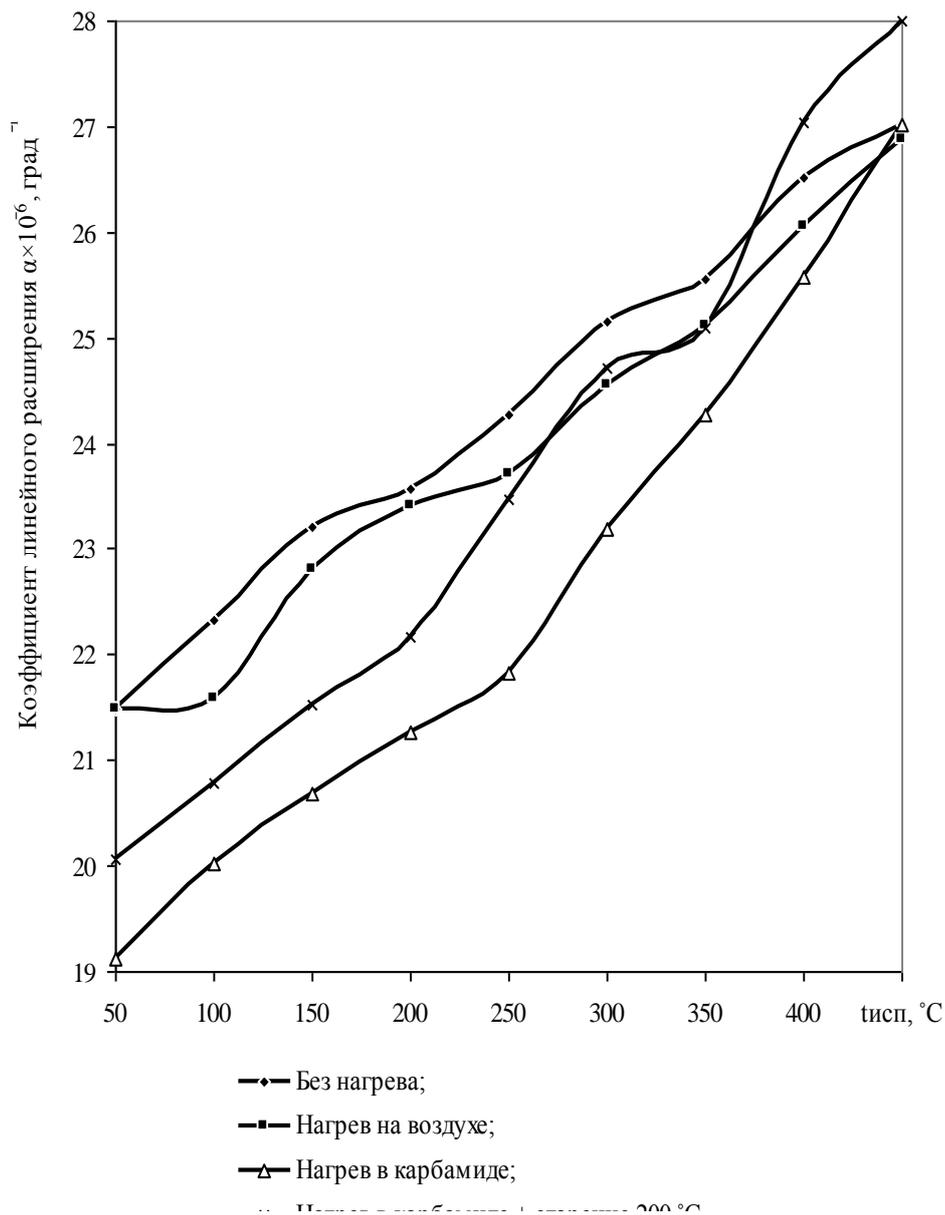


Рисунок 2 – Влияние среды нагрева на линейное расширение алюминия А7 (300 °С, τ = 10 ч)

Таким образом, установлена возможность существенного снижения коэффициента линейного расширения технического алюминия с помощью термической обработки. Оптимальным является нагрев в карбамиде с последующим старением при 200 °С, который способен заменить 10–15%Si.

#### Библиографический список

1. Беляев А.Н. Металловедение алюминия и его сплавов / А.Н.Беляев и др.: Под ред. И.Н. Фридляндера – М.: Металлургия, 1983. – 278с.
2. Попова М.В. Линейное расширение алюминия и его сплавов. Часть 1. Линейное расширение алюминия: Учеб. пособие / М.В. Попова, А.А Ружило, А.Н. Любушкина, В.Ф. Фролов. – Новокузнецк: СибГИУ 2001. – 68 с.

## ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНЫХ НАГРЕВОВ НА СВОЙСТВА МАЛОЛЕГИРОВАННОГО БЕЛОГО ЧУГУНА\*

МАСЛЯЕВ М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Для успешного применения в различных отраслях техники малолегированному доменному чугуно без выделений графита нужно придать необходимые механические свойства. Этого можно добиться путем снижения объемной доли хрупкой структурной составляющей – цементита.

В работе изучалось влияние многократного нагрева при 1100 – 800 °С. Нагрев проводили в двух печах СНОЛ, разогретых до 1100 и 800 °С. В каждом цикле чугун нагревали до 1100 °С, переносили в печь, разогретую до 800 °С, охлаждали с печью и снова переносили в печь с температурой 1100 °С. Выдержка при заданных температурах составляла 1 – 3 мин. Окончательное охлаждение производили на воздухе.

Металлографический анализ проводился с использованием поляризационного микроскопа «Альтами МЕТ вариант 1» с выходом (с помощью цифровой фотокамеры «Olimpus E-420») на ПК. Просмотр микроструктуры проводился как на микроскопе, так и на мониторе при увеличениях  $\times 50$ ,  $\times 100$ ,  $\times 200$ . Фотографирование микроструктуры в операционной оболочке «WINDOWS» проводилось с помощью программы «InterVideo WinCoder». При количественном анализе объемная доля цементита определялась на автоматическом структурном анализаторе «EPIQUANT» при увеличении  $\times 200$ . Шлифы готовились по стандартной методике, при этом структура выявлялась травлением в 5 % спиртовом растворе азотной кислоты.

Установлено, что в результате многократного термоциклирования в интервале указанных температур в структуре чугуна происходит увеличение травимости микрошлифов, что связано с увеличением количества перлитной составляющей (рисунок 1).

На рисунке 2 представлена зависимость изменения объемной доли цементита ( $V_{\text{ц}}$ ) в результате многократных нагревов. Видно, что циклирование способствует сначала резкому уменьшению доли цементита (2-ой цикл с 67,2 до 48 %), затем повышению (56,5 – 57,6) и далее величина  $V_{\text{ц}}$  снова снижается до 48,4 – 46,7 % после 8 – 12 циклов.

---

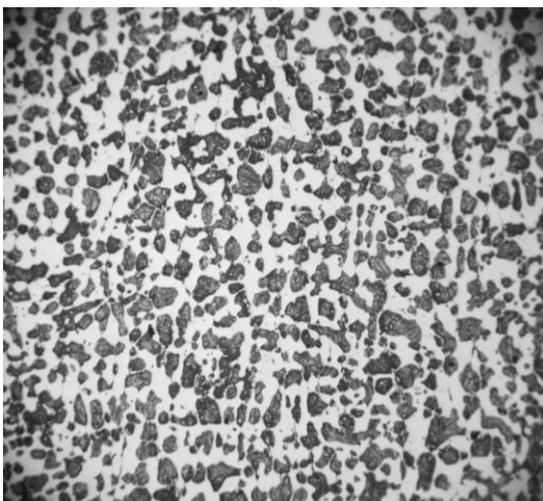
\* Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. В.К. Афанасьева.



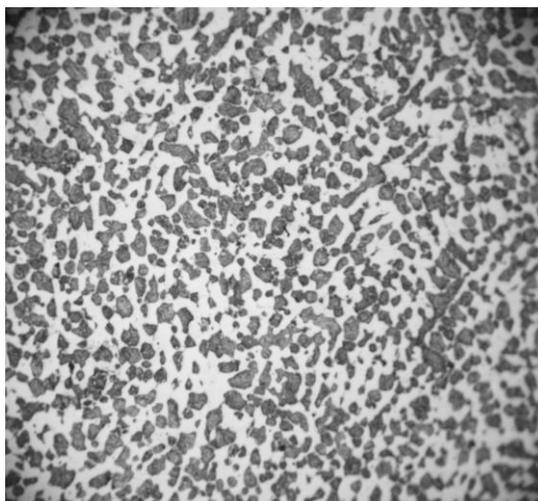
а



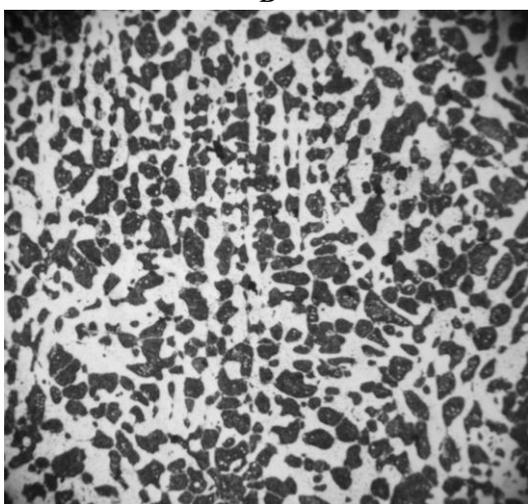
б



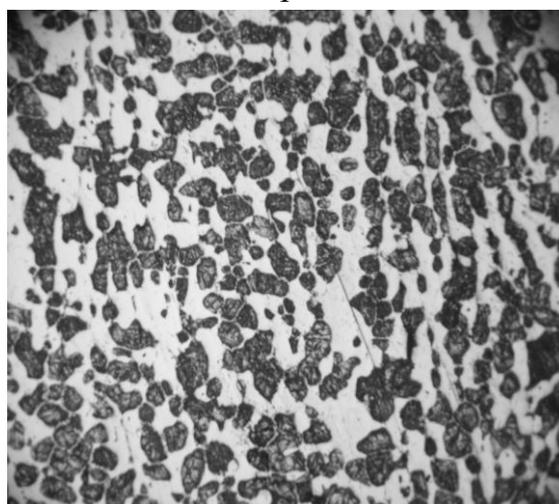
в



г



д



е

количество циклов: а – без обработки; б – 2; в – 4; г – 6; д – 8; е – 12,  $\times 50$

Рисунок 1 – Микроструктура чугуна после многократного нагрева при 1100 – 800 °С

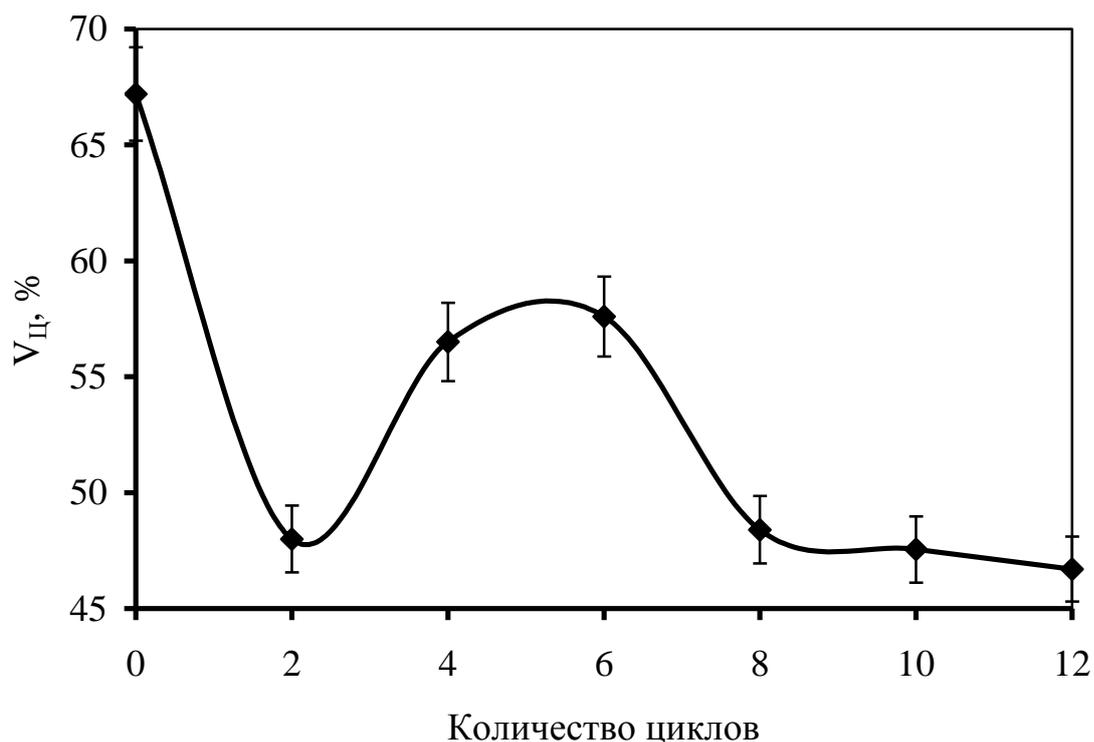


Рисунок 2 – Влияние многократного нагрева при 1100 – 800 °С на объёмную долю цементита

Таким образом, многократный нагрев чугуна в интервале температур от 1100 до 800 °С с изотермическими выдержками 1 – 3 мин при этих температурах способен существенно изменять объёмную долю цементита.

УДК 669.71:536.413.2

## **ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА НА КОЭФФИЦИЕНТ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ДОЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ\***

МОРОЗОВА Е. Л., ПЕРЕДЕРЕЙ С.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

До настоящего времени практически отсутствуют базовые положения по созданию легких сплавов с низким температурным коэффициентом линейного расширения. Такие сплавы разрабатываются в основном по методу проб и ошибок. В значительной мере это объясняется тем, что вопрос о природе процессов теплового расширения и сжатия вообще, а металлов и спла-

\* Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. В.К. Афанасьева.

вов в частности, до сих пор остается открытым. Большой объем данных по линейному расширению алюминиевых сплавов при нагреве лишь констатирует факт определенного числового уровня ТКЛР( $\alpha$ ) и не несет информации о его формировании [1].

Среди промышленных алюминиевых сплавов значительное место занимают литейные на основе Al–Si. Известно, что кремний оказывает наиболее сильное влияние на ТКЛР алюминия. С увеличением содержания кремния коэффициент линейного расширения снижается и становится меньше значений для многих материалов, применяющихся в приборостроении [2]. При анализе особенностей формирования свойств сплавов алюминия с кремнием показано, что ведущая роль в этом процессе принадлежит водороду [3].

Двойной сплав Al–Si можно представить как систему Al – Si – H – N – O [2]. Свойства этих сплавов можно сильно изменить путем обработки шихты, расплава, изменений условий кристаллизации, пластической деформации и легирования. Эти методы изменяют химический состав сплава, соотношение примесных элементов (происходит образование различных соединений водорода, азота и кислорода). Изменение соотношения всех компонентов в сплаве с помощью различных технологических приемов позволяет частично решить задачу по регулированию ТКЛР алюминиевых сплавов [1].

Для многих Al–Si (1 – 50 % Si) сплавов естественным оказывается уменьшение ТКЛР при низких температурах испытания (50 – 100 °С). Однако наблюдается скачкообразное повышение значений  $\alpha$  в интервале температур 200 – 400 °С.

После резкого подъема коэффициента он также резко снижается при температурах испытания 400 – 450 °С до минимальных значений [2]. При этом увеличение содержания кремния приводит к расширению температурного интервала аномалии и сдвигу ее в сторону более высоких температур [4]. Наводороживание расплава различными способами может резко усилить аномалию, а любые дегазирующие воздействия на расплав ее уменьшают или полностью устраняют [2].

Общие изменения коэффициента линейного расширения силуминов можно представить следующим образом. В сплавах в связи с присутствием кремния, содержанием примесей, а также водорода и азота при температурах испытания 50, 100 и 150 °С происходит направленное движение атомов водорода (поскольку он наиболее подвижен). При более высоких нагревах испытания – 200 – 300 °С начинается активное перемещение атомов азота. Общий вклад движения атомов азота и водорода в расширение алюминия выражается в виде резкого повышения значений коэффициента. При дальнейшем повышении температуры испытания водород и азот связываются в соединения NH<sub>3</sub> либо дополнительно взаимодействуют с кислородом с образованием HNO<sub>3</sub> или H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. В связи с этим в структуре алюминия образовавшиеся дисперсные частицы продуктов взаимодействия водорода, азота и кислорода препятствуют расширению алюминия. Последнее дает снижение ко-

эффицента до значений, меньших по сравнению с исходными [2].

В данной работе проведено изучение влияния длительных выдержек при нагреве в интервале температур 20 – 550 °С на линейное расширение монокремнистых сплавов Al-6%Si и Al-8%Si. Результаты исследования приведены на рисунке 1.

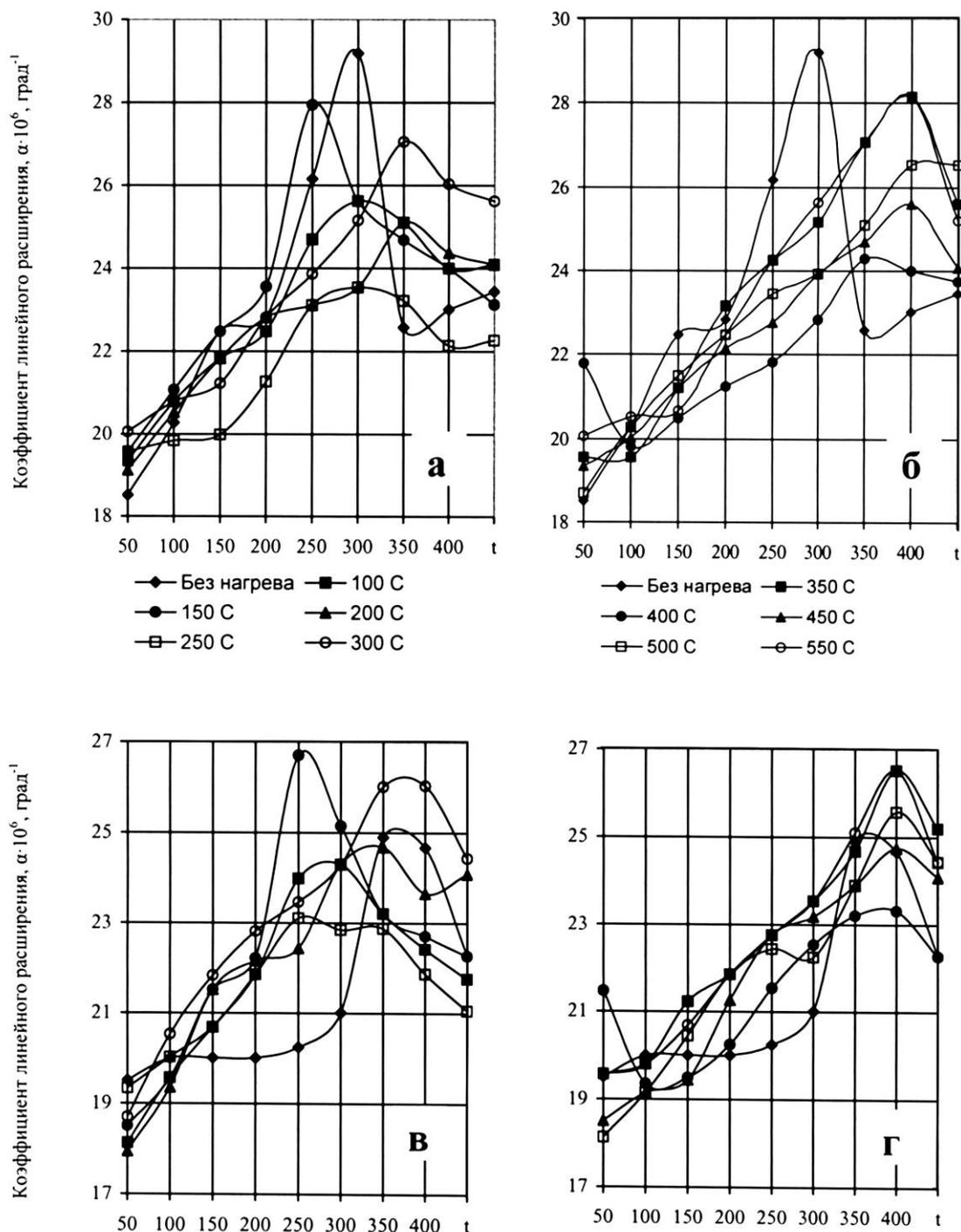


Рисунок 1 – Влияние предварительного нагрева (10 ч, воздух) в интервале 20 – 300 °С (а, в) и 300 – 550 °С (б, г) на линейное расширение сплавов Al-6% Si (а, б) и Al-8% Si (в, г)

На рисунке 1, *а* и *б* (сплав Al-6%Si) аномалия линейного расширения сплава, не прошедшего предварительной обработки, наблюдается при температуре 300 °С. При выдержке при 100 °С значения коэффициента снижаются, и аномалия проявляется при той же температуре. А вот выдержка при 150 °С сдвигает пик влево, при 200 и 300 °С – вправо. *Длительная выдержка данного сплава (10 часов, воздух) при температуре 250 °С перед дилатометрическим исследованием приводит к максимальному уменьшению значений ТКЛР и расширяет «горб» на кривой зависимости  $\alpha=f(t, \text{ }^\circ\text{C})$ .* Нагрев сплава до температур выше 350 °С смещает пик на графике в область более высоких температур, незначительно уменьшая при этом максимальные значения ТКЛР.

На рисунке 1, *в* и *г* (сплав Al-8%Si) аномалия линейного расширения не обработанного сплава располагается в интервале температур 350 – 400 °С. Предварительный нагрев образцов при температурах 100, 150, 200 и 250 °С смещает пик на графике в область более низких температур (250 – 350 °С), однако нагрев при 150 °С увеличивает аномалию, а *нагрев при 250 °С, наоборот, сильно уменьшает максимальные значения  $\alpha$  и расширяет пик.* Нагрев при 300 °С повышает значения ТКЛР сплава во всем интервале температур. Нагрев выше 350 °С смещает аномалию вправо (400 °С), не уменьшая ее.

Таким образом, длительные выдержки при температуре 250 °С могут сильно уменьшать аномальное изменение коэффициента линейного расширения изучаемых сплавов.

#### Библиографический список

1. Афанасьев В. К., Попова М. В. // *Металлы*. – 2002. – № 2. – С. 47 – 53.
2. Легкие сплавы с малым тепловым расширением / В. К. Афанасьев, М. В. Попова, А. А. Ружило и др. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2000. – 374 с.
3. Водород и свойства сплавов алюминия с кремнием / В. К. Афанасьев, И. Н. Афанасьева и др. – Абакан: Хакасское книжное изд-во, 1998. – 187 с.
4. Афанасьев В. К., Ружило А. А. // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2003. – № 10. – С. 16 – 17.

УДК 669.1.046.516

## **ВЛИЯНИЕ НАВОДОРОЖИВАНИЯ ШИХТЫ НА СВОЙСТВА СТАЛИ 20Л И ЖЕЛЕЗА 008ЖР**

АФАНАСЬЕВ В.К., ГРИШКОВ Н.В., ЛАВРОВА Н.Б.,  
ДОЛГОВА С.В., ТОЛСТОГУЗОВ В.Н.

*Сибирский Государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Газосодержание оказывает определяющее влияние на формирование всех физических, механических и химических свойств металлических спла-

вов. Ведущая роль среди газов в металлах принадлежит водороду [1, 2]. Водород появляется в сплавах многими различными путями и, прежде всего, вместе с шихтой [3].

В настоящей работе рассмотрена общая картина влияния предварительной обработки шихты на свойства стали 20Л и железа 008ЖР. Достигалось это с помощью предварительного электролитического наводороживания шихты, вводимой определенными порциями в расплав одинакового с ней состава. Плавка металла проводилась в индукционной тигельной печи типа ИСТ-006. Температура заливки измерялась термопарой W-Re и находилась в пределах производственных условий. После расплавления изучаемые сплавы заливались в земляные формы.

Формовочная смесь приготавливалась в лабораторных бегунах и имела следующий состав: 95 – 97 % формовочного песка, 3 – 5 % глины, 5 – 7 % жидкого стекла.

На отдельно отлитых образцах изучалась микроструктура, определялась плотность.

Электролитическое наводороживание проводилось в сернокислотном электролите при различных режимах наводороживания [4].

Получение образцов из железа и стали предусматривало расплавление половины веса плавки и введение второй половины после электролитического наводороживания от 1 до 10 ч. Сравнение проводилось с переплавленным металлом обычного приготовления.

Влияние электролитического наводороживания на плотность железа 008ЖР и стали 20Л показано на рисунке 1. Видно, что при увеличении времени обработки шихты до трех часов происходит резкое повышение их плотности. Это обусловлено развитием процессов саморафинирования, так как при высоких температурах обработки, достигающих 1680 – 1720 °С, в чистом железе и малоуглеродистой стали самым эффективным средством для удаления различных газов и водорода является сам водород.

Изучение микроструктуры показало, что электролитическое наводороживание шихты влияет на кристаллизацию железоуглеродистых сплавов и может привести к изменению величины зерна и образованию перлитных участков при меньшем содержании углерода. Так, на рисунке 2, в качестве примера, приведена микроструктура стали 20Л обычного приготовления (*а*) и с использованием 50 % электролитически наводороженной шихты в течение четырех часов (*б*). Видно, что последняя имеет вид, обычно характерный для эвтектоидной стали У7 с большим количеством перлитных участков (увеличение их от 25 до 70 %). Такое резкое увеличение объемной доли перлита за счет применения наводороживания шихты указывает на перспективу существенного изменения механических свойств при последующей термической обработке.

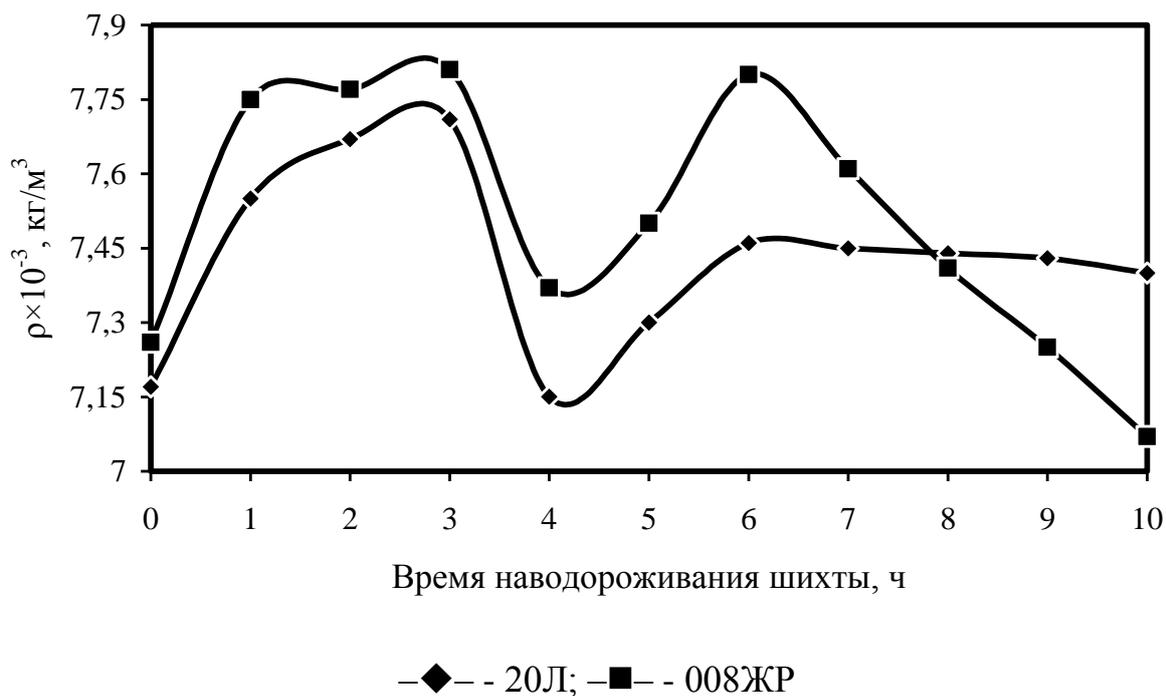


Рисунок 1 – Влияние электролитического наводороживания шихты на плотность стали 20Л и железа 008ЖР

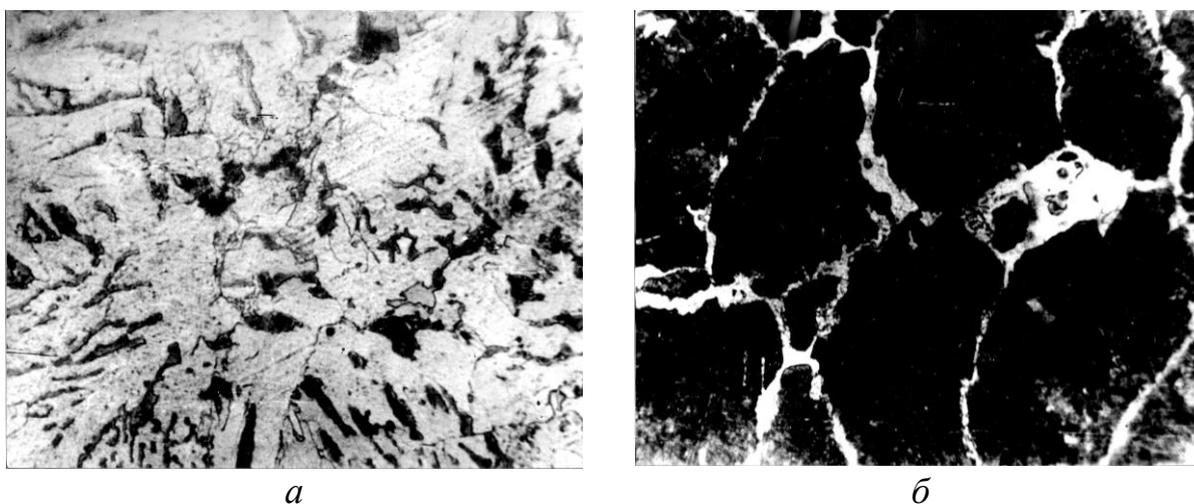


Рисунок 2 – Микроструктура стали 20Л после обычного приготовления (а) и с использованием электролитически наводороженной шихты (б), ×260

Известно, что наличие водорода в железе приводит к повышению пределов прочности и текучести [5]. В структуре железа 008ЖР обычного приготовления и с использованием 50 % электролитически наводороженной шихты наблюдается зеренная структура. Изменение величины зерна приведено на рисунке 3. Существенное увеличение размера зерна указывает на перспективу применения электролитического наводороживания шихты в производстве электротехнических материалов.

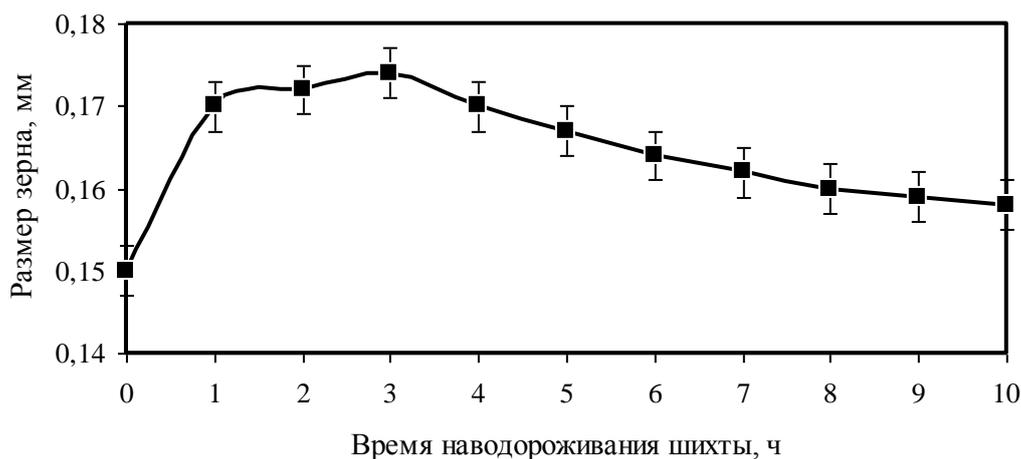


Рисунок 3 – Влияние электролитического наводороживания шихты на величину зерна железа 008ЖР

#### Библиографический список

1. Лакомский В.И. Газы в чугунах. Изд. 2 / В.И. Лакомский, В.И. Явойский. – Киев, ГИТЛ УССР, 1960. – 173 с.
2. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов / В.И. Шаповалов. – М.: Metallurgia, 1982. – 230 с.
34. Гудремон Э. Специальные стали: в 2 т. Т. 2 / Э. Гудремон. – М.: Metallurgizdat, 1966. – 1640 с.
5. Белоглазов С.М. Наводороживание стали при электрохимических процессах / С.М. Белоглазов. – Ленинград: Изд-во Ленинградского университета, 1975. – 411 с.
6. Карпенко Г.В. Влияние водорода на свойства стали / Г.В. Карпенко, Р.Н. Крипякевич. – М.: Metallurgizdat, 1962. – 197 с.

УДК 669.71.017

## ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ\*

ГОРШЕНИН А.В., СТАРОСТИНА М.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Проблема расширения и сжатия является чрезвычайно важной в современном материаловедении [1]. До настоящего времени идут поиски путей создания легких сплавов с нужным сочетанием механических свойств с низ-

\* Работа выполнена под руководством д.т.н., профессора В.К. Афанасьева..

ким коэффициентом линейного расширения (КЛР). Несмотря на имеющийся колоссальный список работ по линейному расширению различных веществ (газов, жидкостей, твердых), создание сплавов с регулируемым КЛР до сих пор проводится по методу проб и ошибок. В 1886 году Шарль Гильом обнаружил сплав Fe – 36 % Ni с неизменяющимся низким значением КЛР при температурах испытания 50 – 100 °С ( $\alpha = 1-2 \times 10^{-6} \text{град}^{-1}$ ). Этот сплав назван инваром и секрет инварности до сих пор неизвестен, несмотря на то, что он широко используется в приборной технике (сплав И36).

Сплавы на основе системы Fe – Ni имеют большой вес, высокую товарную цену и сложный технологический процесс изготовления изделий. Именно поэтому наиболее актуальным в проблеме расширения и сжатия является получение легких алюминиевых сплавов с малым тепловым расширением (приборы космической техники, поршни двигателей внутреннего сгорания и многое другое).

Для разработки легких алюминиевых сплавов необходимо начинать с изучения особенностей расширения технического алюминия А7. Установлено, что тезис о зависимости КЛР от температуры плавления металла является не правомерным [2]. Показано также, что при анализе влияния легирования на тепловое расширение алюминия наиболее перспективной является группа силуминов [3]. В связи с этим на первое место выходит необходимость изучения влияния температуры заливки на КЛР алюминия А7, предварительно обработанного в расплавленном состоянии карбонатами щелочно-земельных металлов  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Mg CO}_3$  (доломит) [4].

Расплавленный алюминий обрабатывали доломитом ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Mg CO}_3$ ) различной фракции. Заливка производилась с температур: 640, 670, 740, 780, 820 и 860 °С.

В таблице 1 и на рисунке 1 приведены данные дилатометрических исследований. Установлено, что разные температуры заливки сильно влияют на КЛР литого алюминия, обработанного доломитом.

Таблица 1 – Влияние температуры заливки на коэффициент линейного расширения алюминия А7, обработанного доломитом

Температура заливки, °С	Коэффициент линейного расширения $\alpha \times 10^{-6}$ , град <sup>-1</sup> при температурах испытания, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
алюминий обычного приготовления	23,07	23,57	24,06	24,55	25,04	25,54	26,03	26,53	27,02
640	19,34	21,66	22,84	22,83	23,11	21,14	20,08	24,37	23,13
670	18,70	20,80	22,15	21,85	17,08	8,74	20,74	21,14	21,76
740	20,32	20,80	21,83	22,49	22,12	21,94	22,00	21,62	17,45
780	18,91	20,80	22,15	21,56	22,12	18,83	10,90	19,13	22,28
820	17,12	18,19	15,58	4,25	9,90	13,40	11,40	12,52	13,24
860	21,22	20,53	22,15	23,56	23,47	24,30	23,55	24,75	25,62

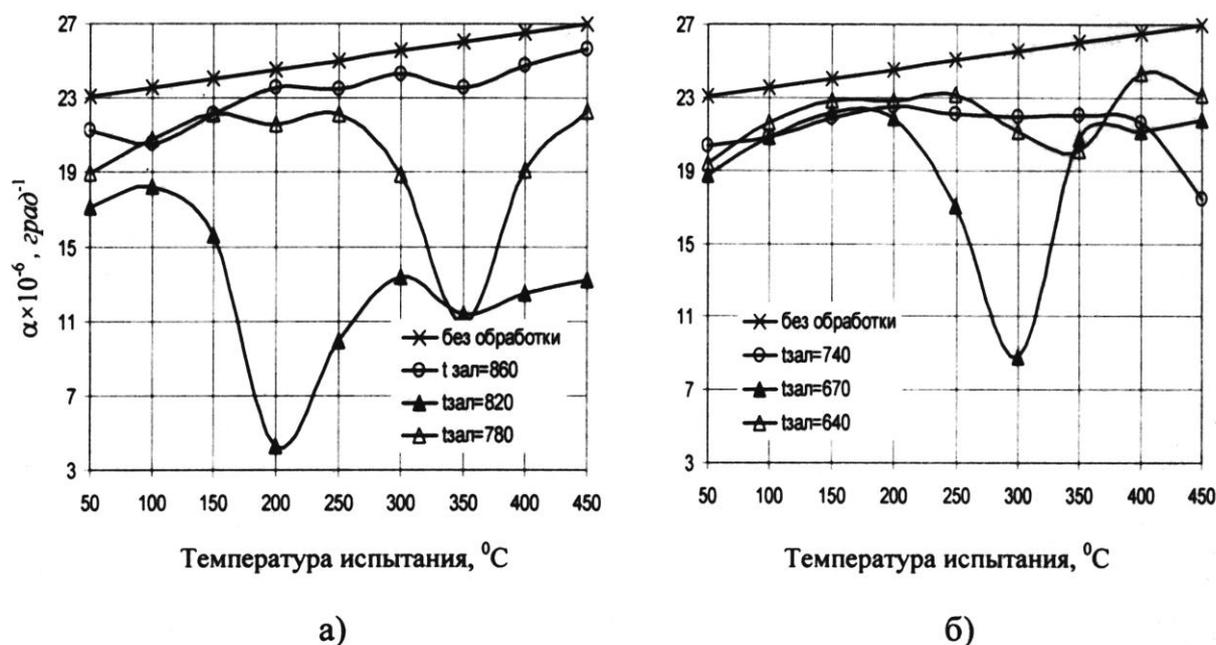


Рисунок 1 – Влияние температуры заливки на КЛР алюминия А7, обработанного доломитом

На рисунке 1 видно, что обработка доломитом, независимо от его фракции, способствует снижению КЛР алюминия во всем температурном интервале испытания.

Анализируя результаты, полученные при исследовании образцов из алюминия, обработанного доломитом, можно сделать вывод о том, что в целом наименьшие значения КЛР во всем интервале температур испытания имеют образцы, залитые при температурах 670 и 820  $^{\circ}\text{C}$ . В этом случае может быть получено значение  $\alpha_{300} = 8,74 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$  после заливки с 670  $^{\circ}\text{C}$ , а также значение  $\alpha_{200} = 4,25 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$  после заливки 820  $^{\circ}\text{C}$ .

#### Библиографический список

1. Легкие сплавы с малым тепловым расширением / В.К. Афанасьев [и др.] – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2000. – 376 с.
2. Афанасьев В.К., Попова М.В., Фролов В.Ф., Любушкина А.Н. О линейном расширении алюминия при нагреве // Металлы. – 2002. – № 2. – С. 47 – 51.
3. Афанасьев В.К., Попова М.В., Ружило А.А., Фролов В.Ф. О влиянии легирования на тепловое расширение алюминия // Металлы. – 2002. – № 6. – С. 32 – 38.
4. Пат. 2136773 РФ. Способ модифицирования алюминия и его сплавов / М.В. Попова, В.В. Герцен, А.В. Доронченко, В.К. Афанасьев. – № 8104521; заявл. 05.03.98; опубл. 10.09.99.

## **О ВЛИЯНИИ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ\***

ГОРШЕНИН А.В., СТАРОСТИНА М.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время приборная техника нуждается в материалах с регулируемым коэффициентом линейного расширения (КЛР). Несмотря на имеющийся огромный список работ по линейному расширению различных веществ, создание сплавов с регулируемым КЛР до сих пор остается открытым. В приборной технике широко используется сплав на основе железа, названный инваром (Fe – 36 % Ni), т.к. этот сплав обладает неизменяющимся низким значением КЛР при температурах испытания 50 – 100 °С. Следует отметить, что сплавы на основе системы Fe – Ni имеют высокую товарную цену, большой вес, а также сложный технологический процесс изготовления изделий. Поэтому наиболее перспективными в этом отношении являются легкие сплавы на основе алюминия [1].

Благодаря своим замечательным свойствам и широкой доступности, алюминий стал объектом исследования данной работы. Известно, что значительно понижают КЛР алюминия легирующие добавки, которые имеют коэффициент значительно ниже, чем у алюминия [2]. Следует отметить, что количество вводимых легирующих добавок значительно превышает предельную растворимость этих элементов в алюминии, что отрицательно сказывается на структуре и общем комплексе свойств алюминия.

В связи с этим была исследована возможность снижения КЛР алюминия марки А7 за счет обработки расплава, которую можно рассматривать как микролегирование. В качестве реагента для обработки расплава был выбран доломит, который представляет смесь карбонатов щелочноземельных металлов  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  [3].

В соответствии с поставленной целью, исследовалось влияние различных параметров старения на линейное расширение алюминия, обработанного доломитом мелкой фракции, смоченным в воде. Старению подвергались образцы, залитые с высоких и низких температур. Исходя из экспериментально выбранных режимов термообработки, выплавленные образцы подвергались старению. Нагрев образцов проводился в электрических шкафах сопротивления типа СНОЛ. Контроль температур осуществлялся с помощью термопары хромель-алюмель и потенциометра постоянного тока ПП-63 (класс 0,05), предназначенного для проверки в цеховых условиях теплотех-

---

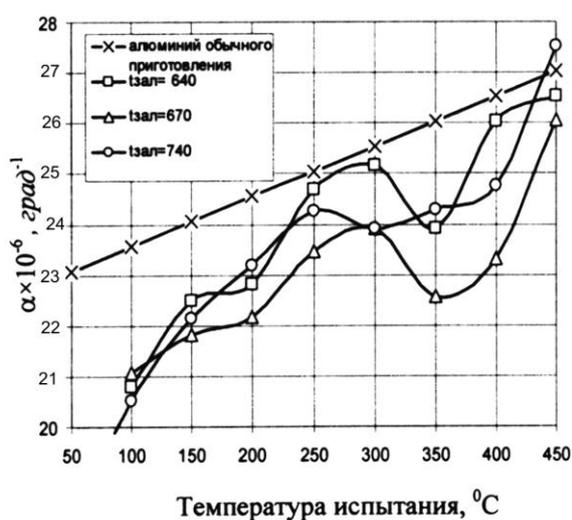
\* Работа выполнена под руководством д.т.н., профессора В.К. Афанасьева.

нических приборов, работающих с термопарами.

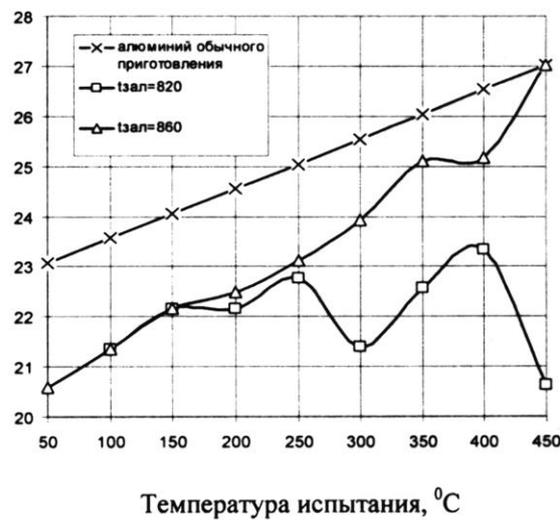
Замечено, что старение алюминия залитого с высокой температуры не приводит к дальнейшему снижению КЛР. Напротив, в интервале 50 – 300 °С наблюдается монотонное повышение КЛР по сравнению с литым алюминием. Исключением является режим старения 250 °С в течение 10 часов, после которого наблюдается снижение коэффициента линейного расширения. Результаты этих исследований представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Влияние температуры заливки и старения (250 °С, 10 ч) на коэффициент линейного расширения алюминия А7, обработанного доломитом

Температура заливки, °С	Коэффициент линейного расширения $\alpha \times 10^{-6}$ , град <sup>-1</sup> при температурах испытания, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
алюминий обычного приготовления	23,07	23,57	24,06	24,55	25,04	25,54	26,03	26,53	27,02
640	-	20,79	22,48	22,82	24,69	25,15	23,91	26,04	26,52
670	-	21,07	21,83	22,16	23,47	23,91	22,57	23,32	26,05
740	17,95	20,53	22,15	23,18	24,26	23,91	24,28	24,75	27,53
820	-	21,36	22,15	22,16	22,77	21,40	22,58	23,33	20,63
860	20,59	21,36	22,15	22,49	23,11	23,92	25,10	25,16	27,01



а)



б)

Рисунок 1 – Влияние температуры заливки и старения (250 °С, 10 ч) на коэффициент линейного расширения алюминия А7, обработанного доломитом

Установлено, что старение алюминия, обработанного доломитом и залитого при низких температурах, приводит к равномерному понижению КЛР во всем интервале температур испытания. Наибольшее снижение коэффициента

ента линейного расширения наблюдается в интервале испытания 300 – 450 °С у образца, залитого при высокой температуре ( $t_{\text{зал}} = 820$  °С), и составляет  $\alpha_{450} = 20,63 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>, тогда как  $\alpha_{450}$  алюминия обычного приготовления составляет  $27,02 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>.

#### Библиографический список

1. Афанасьев В.К., Попова М.В., Фролов В.Ф., Любушкина А.Н. О линейном расширении алюминия при нагреве // *Металлы*. – 2002. – № 2. – С. 47 – 51.
2. Афанасьев В.К., Попова М.В., Ружило А.А., Фролов В.Ф. О влиянии легирования на тепловое расширение алюминия // *Металлы*. – 2002. – № 6. – С. 32 – 38.
3. Пат. 2136773 РФ. Способ модифицирования алюминия и его сплавов / М.В. Попова, В.В. Герцен, А.В. Доронченко, В.К. Афанасьев. – № 98104521; заявл. 05.03.98; опубл. 10.09.99.

УДК 621.785:621.81

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЕВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ\***

Слюняев Л.В., Шунков В.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время возросла потребность в мощных и многофункциональных автомобилях, что повлекло за собой необходимость сбалансированности экономии топлива и надежности работы двигателя. Перед автомобилестроителями возникла проблема не только конструктивных изменений, но и новых легких материалов с высокой прочностью, пластичностью, жаростойкостью и износостойкостью.

Алюминий привлекает конструкторов и технологов своей высокой удельной прочностью и низкой теплопроводностью, которые сохраняются при высоких температурах.

Благодаря удачному сочетанию высоких механических и коррозионных свойств с низкой плотностью алюминиевые сплавы нашли широкое применение в автостроении и авиастроении и, в частности, в двигателестроении.

Наибольшее распространение, среди поршневых сплавов, получили сплавы систем Al – Mn, Al – Si, Al – Mg, Al – Cu – Mg, Al – Cu – Mg – Si, Al – Mg – Si, Al – Zn – Mg – Cu.

---

\* Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. В. К.Афанасьева.

Для выбора сплава, отвечающего современным требованиям поршневых материалов, необходимо знать следующее:

- влияние режимов термической обработки и структуры сплава на его свойства, определяющие надежность и долговечность работы поршней;
- режим работы поршней с учетом мощности двигателя, механических и технологических свойств сплава, его стоимости и дефицитности;
- работу двигателей с поршнями из выбранного сплава и оценку эффективности замены материала по результатам предварительных испытаний[1].

К поршневым сплавам предъявляются довольно жесткие требования, основные из них следующие:

- 1) Высокие значения статической и динамической прочности, в том числе при рабочих температурах поршня.
- 2) Высокая усталостная прочность.
- 3) Достаточная твердость при нормальной и повышенной температурах.
- 4) Высокая теплопроводность.
- 5) Низкий коэффициент линейного расширения.
- 6) Низкий удельный вес.
- 7) Хорошие антифрикционные свойства и высокая износостойкость.
- 8) Высокая коррозионная стойкость.
- 9) Удовлетворительные технологические свойства, обеспечивающие возможность изготовления качественных деталей при минимальных экономических затратах [2].

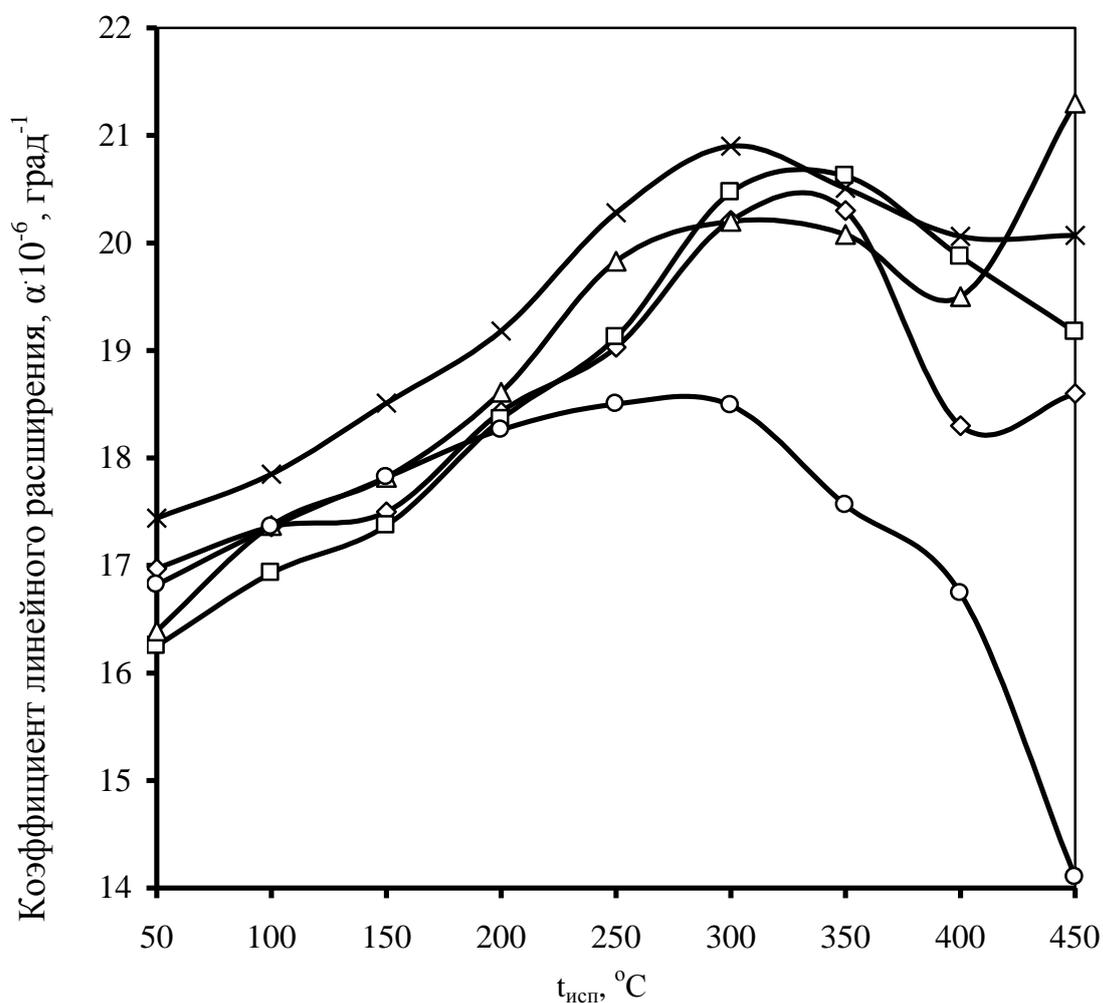
Химический состав поршней и полученные результаты по КЛР приведены в таблицах 1 – 2 и на рисунках 1 и 2. Было проведено исследование влияния старения в течение 1 ч в атмосфере печи и в атмосфере водяного пара на линейное расширение поршня ДВС автомобиля ГАЗ. Химический состав поршня приведен в таблицах 1 и 2, по данным которых построены рисунки 1 и 2.

Таблица 1 – Влияние старения (1 ч) на линейное расширение поршня ДВС автомобиля ГАЗ

Температура старения, °С	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6$ , град <sup>-1</sup> , при температуре испытания, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Без нагрева	16,97	17,36	17,50	18,43	19,03	20,21	20,30	18,30	18,60
100	16,25	16,93	17,37	18,36	19,12	20,47	20,62	19,87	19,17
150	16,39	17,37	17,82	18,61	19,83	20,20	20,08	19,50	21,30
200	17,44	17,85	18,51	19,18	20,28	20,90	20,51	20,06	20,07
250	16,82	17,36	17,82	18,26	18,50	18,49	17,56	16,74	14,10

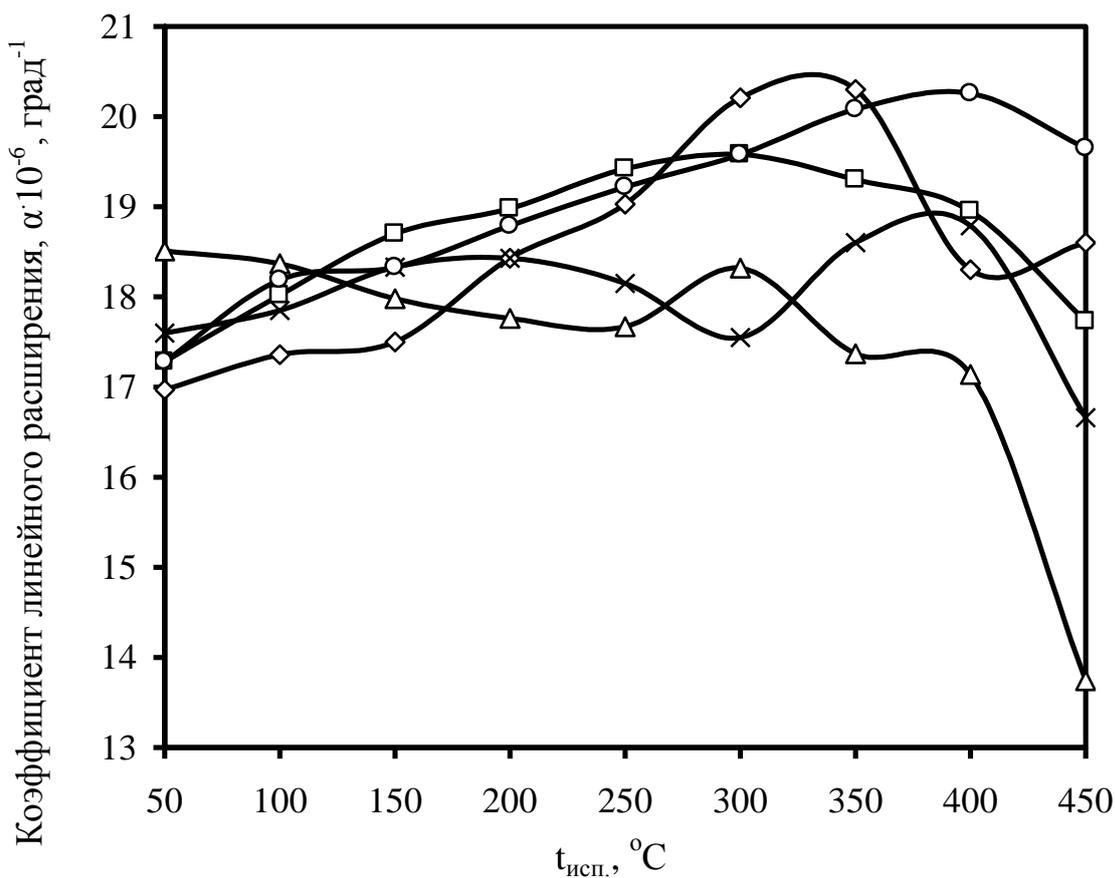
Таблица 2 – Влияние старения в атмосфере водяного пара (1 ч) на линейное расширение поршня автомобиля ГАЗ

Температура старения, °С	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6$ , град <sup>-1</sup> , при температуре испытания, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Без нагрева	16,97	17,36	17,50	18,43	19,03	20,21	20,30	18,30	18,60
100	17,28	18,02	18,70	18,98	19,42	19,58	19,30	18,95	17,73
150	18,51	18,37	17,98	17,76	17,67	18,32	17,37	17,14	13,74
200	17,60	17,85	18,33	18,43	18,15	17,55	18,60	18,79	16,66
250	17,28	18,19	18,33	18,79	19,22	19,58	20,08	20,26	19,65



—◇— без нагрева; —□— 100 °С; —△— 150 °С; —X— 200 °С; —○— 250

Рисунок 1 – Влияние старения (1 ч) на линейное расширение поршня ДВС автомобиля ГАЗ



—◇— без нагрева; —□— 100 °C; —Δ— 150 °C; —x— 200 °C; —○— 250 °C

Рисунок 2 – Влияние старения в атмосфере водяного пара (1 ч) на линейное расширение поршня ДВС автомобиля ГАЗ

#### Выводы:

1. Установлено, что старение при температурах 100 – 250 °C в течение 1 ч приводит к некоторому снижению коэффициента линейного расширения при температуре испытания 250 – 400 °C по сравнению с КЛР сплава в исходном состоянии. При более низких температурах испытания значительно влияния данной обработки на коэффициент линейного расширения не наблюдается. Показано, что однозначной зависимости между температурой старения и величиной коэффициента линейного расширения не существует.

2. Установлено, что для поршня автомобиля ГАЗ наиболее оптимальным способом понижения коэффициента линейного расширения является старение в атмосфере водяного пара при температуре 200 °C, а при старении при 250 °C – старение в атмосфере печи.

#### Библиографический список

1. Металловедение алюминия и его сплавов: справочник / Под ред. И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1971. – 354 с.

2. Свойства элементов: справочник / Под ред. М.Е. Дрица. – М.: Металлургия, 1985. – 672 с.
3. Шмаков Ю.В. Новый класс материалов для автомобильной промышленности / Шмаков Ю.В., Зенина М.В. // Цветные металлы. – 1994. – № 6. – С. 43 – 46.

УДК 669.18.018: 621.785.5

## **О ВЛИЯНИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ЖЕЛЕЗА 008ЖР\***

ДОЛГОВА С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В 1896 году французским исследователем Ш. Гильомом был разработан сплав Fe-36%Ni, обладающий малым тепловым расширением ( $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>). Этот сплав был назван инваром (лат. «неизменный»). Аномалии, связанные с инварным эффектом, позволяют создавать материалы с уникальными свойствами, широко востребованные современным приборостроением и другими областями техники. Однако секрет инварности до сих пор не раскрыт. [1, 2]

Целью данной работы являлся поиск режимов химико-термической обработки (ХТО), позволяющей снизить коэффициент линейного расширения (КЛР) чистого железа. Таким образом, может быть произведена частичная замена деталей, изготовленных из инварных сплавов, деталями из железа, что приведет к значительному снижению стоимости деталей при сохранении конструкционных свойств.

ХТО заключалась в виде цементационного нагрева в бондюжском карбюризаторе (930 °С, 1 ч, воздух) и последующего нагрева в мочеvine ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO, содержание азота 46 %;  $t_{\text{пл}} = 135$  °С) при 600 °С с выдержкой 10 ч. После нагрева в мочеvine проводилась закалка с 1000 °С в холодную воду. КЛР измерялся в дифференциальном dilatометре системы Шевенара.

На рисунке 1 приведены результаты влияния ХТО на линейное расширение железа 008ЖР. Видно, что КЛР снижается во всем интервале температур испытания. Минимальные значения  $\alpha = 7,59 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> и  $\alpha = 9,78 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> соответствуют 150 и 300 °С. Цементация и нагрев в мочеvine не эффективны без последующей закалки. Повторная закалка сглаживает минимумы на кривых КЛР.

---

\* Работа выполнена под руководством д.т.н., профессора В.К. Афанасьева.

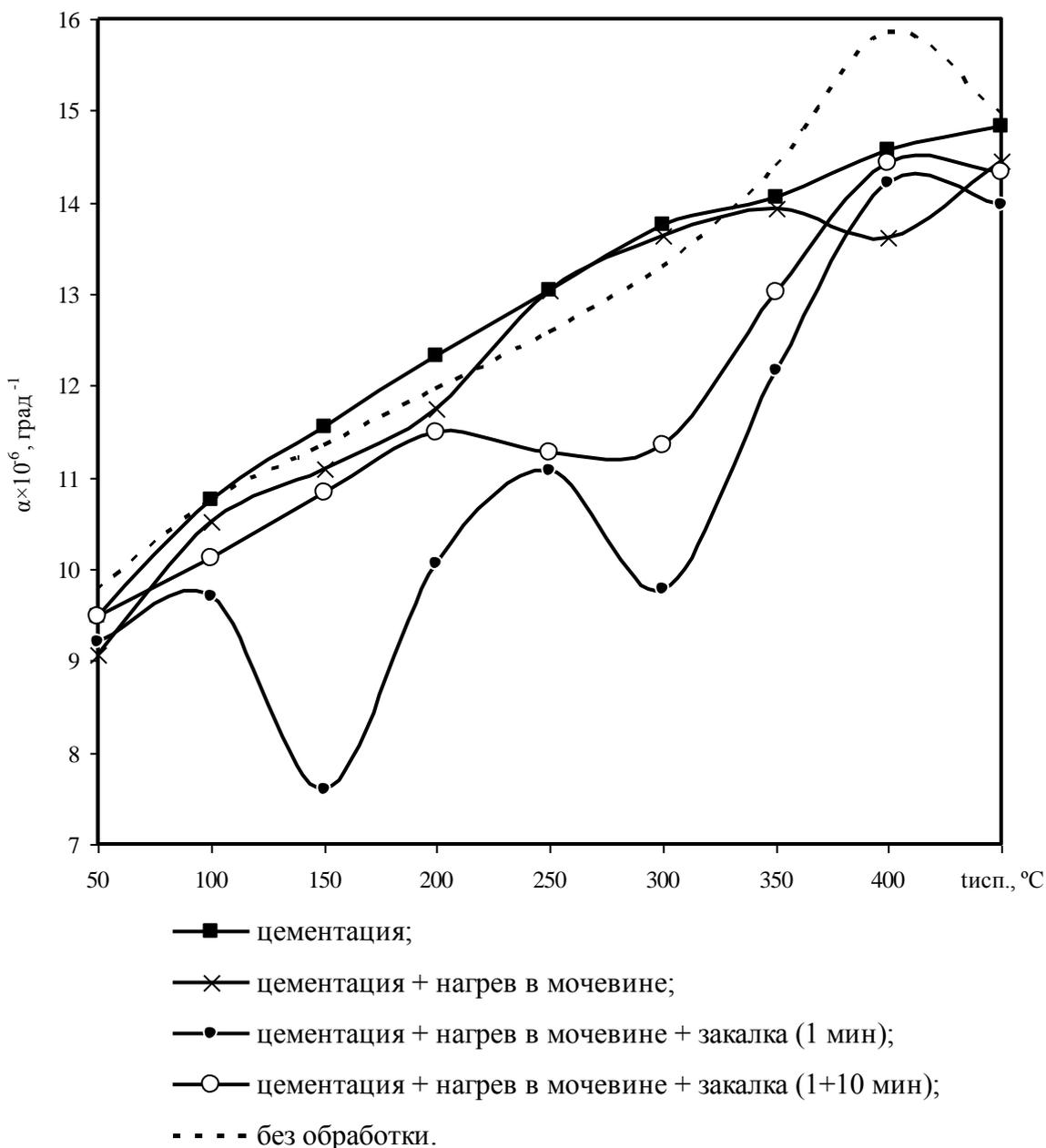


Рисунок 1 – Влияние цементации, последующего нагрева в мочеваине и закалки на линейное расширение железа 008ЖР

Также исследовалось влияние последовательного проведения нагрева в мочеваине, цементации и закалки на линейное расширение железа (рисунок 2). При температурах испытания 150 и 300 °С наблюдается снижение КЛР до значений  $\alpha = 9,63 \cdot 10^{-6} \text{град}^{-1}$  и  $\alpha = 9,61 \cdot 10^{-6} \text{град}^{-1}$  соответственно.

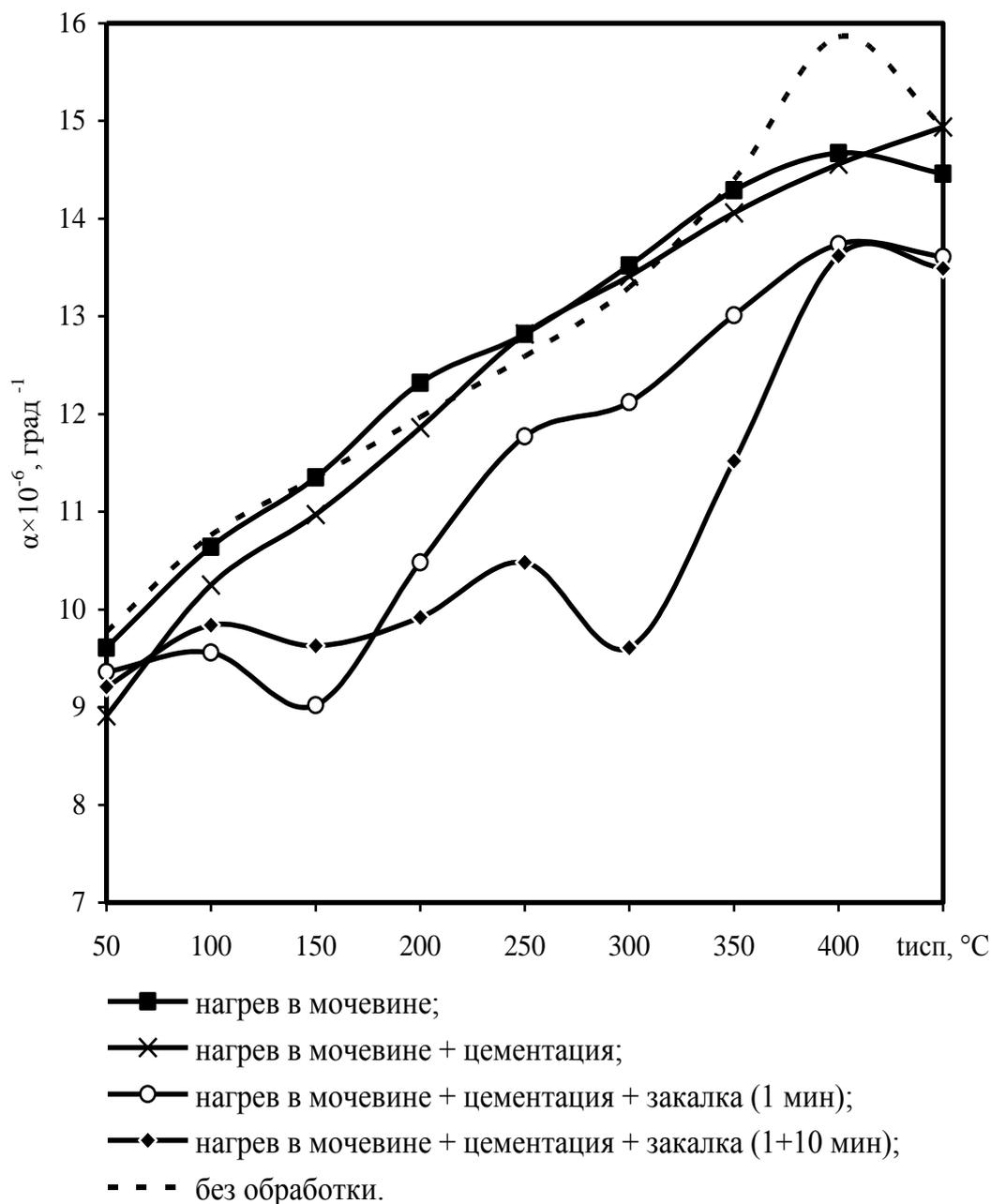


Рисунок 2 – Влияние нагрева в мочеvine, последующей цементации и закалки на линейное расширение железа 008ЖР

Таким образом, по результатам работы можно сделать вывод о перспективности поисков материалов, альтернативных сплавам типа НЗ6.

#### Библиографический список

1. Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел – М.: Наука, 1974. – 294 с.
2. Афанасьев В.К., Попова М.В., Гладышев С.А. и др. Инвары: учебное пособие / СибГИУ. – Новокузнецк, 2006. – 126 с.

## ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ЖЕЛЕЗА\*

ДОЛГОВА С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Многие отрасли промышленности, в частности, точное приборостроение, постоянно нуждаются в материалах, обладающих высокой размерной стабильностью, то есть малым коэффициентом линейного расширения (КЛР) [1, 2]. Такие материалы – инвары, суперинвары, ковары – как правило, имеют высокую стоимость и сложный технологический процесс получения.

Целью работы являлось изучение линейного расширения железа 008ЖР в зависимости от химико-термической обработки (ХТО) и поиск режимов термообработки, позволяющих снизить его.

ХТО проводилась в виде нагревов при 1000 °С с выдержкой 1 ч в карбюризаторе на основе бондюжского. После цементации проводилась закалка с 1000 °С в холодную воду. Измерение КЛР проводилось в дифференциальном dilatометре системы Шевенара после каждого цикла химико-термической обработки.

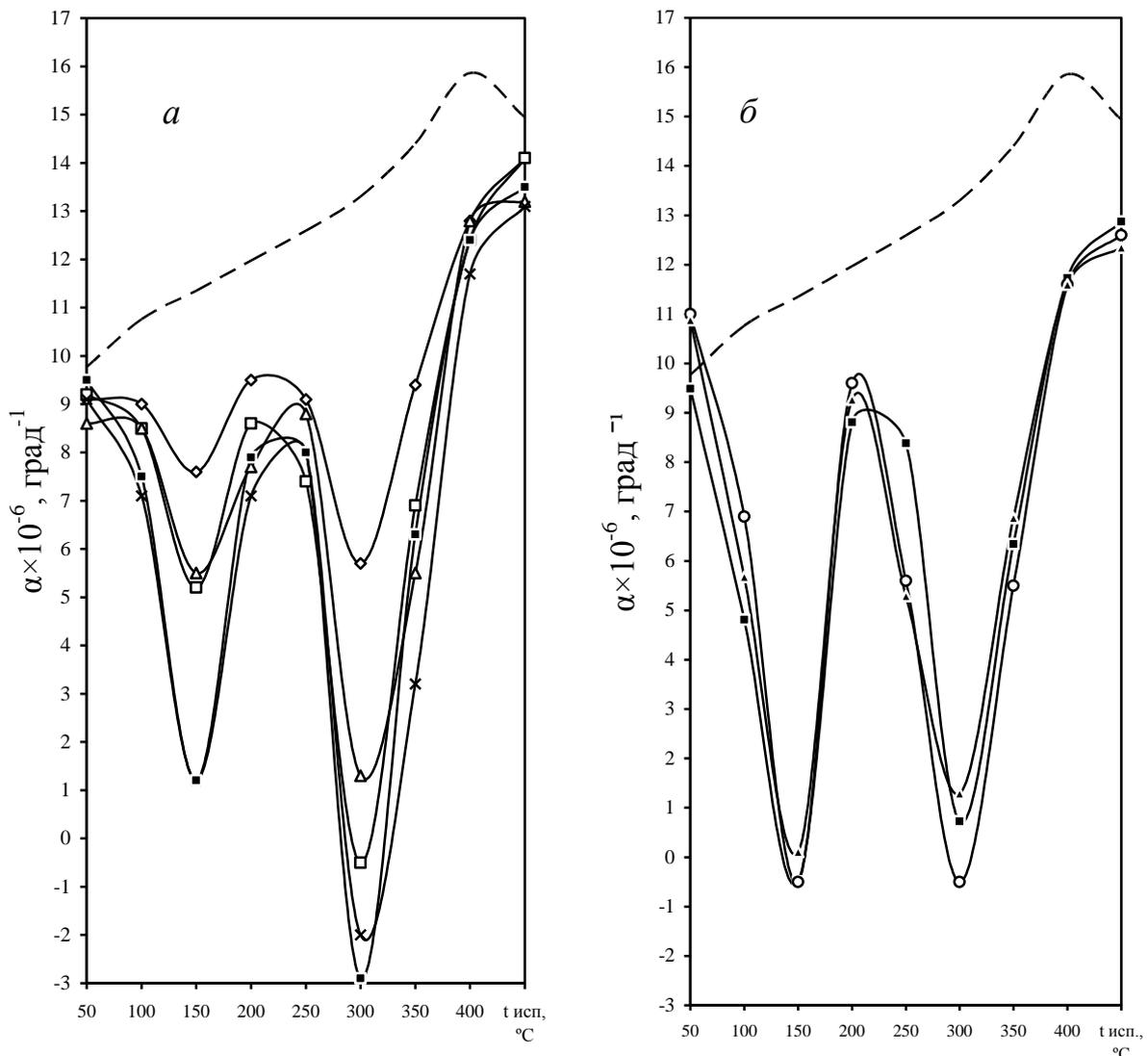
На рисунке 1, а приведены результаты влияния многократного цементационного нагрева, проводимого на одном и том же образце. Видно, что происходит снижение КЛР во всем интервале температур испытания. С увеличением количества циклов обработки КЛР снижается. При температурах испытания 150 и 300 °С КЛР имеет аномально низкие значения. Так после пять циклов обработки он составляет  $1,2 \times 10^{-6}$ , град<sup>-1</sup> и  $-2,9 \times 10^{-6}$ , град<sup>-1</sup> соответственно.

После 5, 10 и 15 циклов химико-термической обработки также обнаружена аномалия при температурах испытания 150 и 300 °С (рисунок 1, б). Так, при пяти циклах обработки получены значения  $\alpha = -0,49 \times 10^{-6}$ , град<sup>-1</sup> и  $\alpha = 0,73 \times 10^{-6}$ , град<sup>-1</sup>. Дальнейшее увеличение числа циклов обработки нецелесообразно, так как приводит к незначительному снижению коэффициента линейного расширения.

Полученные результаты указывают на возможность резкого снижения коэффициента линейного расширения чистого железа и перспективу работ по получению железных инваров.

---

\* Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. В.К. Афанасьева.



: - - - - без обработки; -◇- – 1 ц.; -□- – 2 ц.; -Δ- – 3 ц.;  
 -×- – 4 ц.; -■- – 5 ц.; -○- 10 ц.; -▲- 15 ц.

Рисунок 1 – Влияние циклической химико-термической обработки на линейное расширение железа 008ЖР

#### Библиографический список

1. Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел / С.И. Новикова // М.: Наука, 1974. – 294 с.
2. Афанасьев В.К. Инвары: учебное пособие / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, С.А. Гладышев и др. – Новокузнецк: СибГИУ, 2006. – 126 с.

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ WC-PR-X17C4P4, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ЛОПАТОК ЭКСГАУСТЕРА АГЛОДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

БЕЗЗУБКО А. В., ГОНЧАРОВА В.В., САМАРЦЕВ В.П.

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН  
г. Томск*

Целью работы является создание износостойких композиционных покрытий на лопатках эксгаустера на основе карбида вольфрама с высоколегированной хромоникелевой матрицей, способных противостоять износу в агрессивных средах при повышенных температурах. Для нанесения покрытий был использован шликерный метод с последующим оплавлением электронным пучком. Оплавление шликерных обмазок осуществляли при следующих параметрах:  $U = 20$  кВ,  $I = 65$  мА [1]

Известно, что от соотношения количеств тугоплавких компонентов и твердого раствора зависят прочностные характеристики формируемых покрытий.[2]. В связи с этим в работе исследовали влияние содержания WC на структуру и свойства формируемых покрытий. Концентрация WC в шликерной обмазке изменялась в пределах 44 % вес. – 70 % вес. Исследования проводились на однослойных и двухслойных покрытиях.

На рисунке 1 приведены микроструктуры однослойных и двухслойных никельхромовых покрытий, содержащих 70 % WC. Анализ сформированных микроструктур показывает, что в однослойном покрытии (рисунок 1, а) карбида вольфрама в виде дендритообразных конгломератов занимают примерно 70 % площади покрытия, что соответствует исходной концентрации карбидов вольфрама в шликерной обмазке. При этом участки никельхромовой связки в виде прослоек между карбидами становятся очень тонкими, что снижает свободу перемещения карбидных частиц в покрытии и приводит к его хрупкости.

В структуре двухслойного покрытия карбида вольфрама распределились по границам зерен твердого раствора (рисунок 1, в). Это обусловлено перераспределением легирующих элементов в результате более длительного теплового воздействия при последовательном нанесении с оплавлением двух слоев, а также частичной диссоциации карбидов вольфрама, что обусловило снижение их твердости ( $H_M$ ) и износостойкости ( $K_H$ ) по сравнению с однослойными покрытиями: с 10000 МПа до 5500 МПа и с 1,7 до 1,2  $K_H$ , соответственно.

Следует отметить, что при оплавлении шликерных обмазок, содержащих 70 % WC, в зонах перекрытия дорожек оплавления (рисунок 2, а) отмечаются многочисленные трещины (рисунок 2, б), приводящие к отслоению и

разрушению сформированных покрытий.

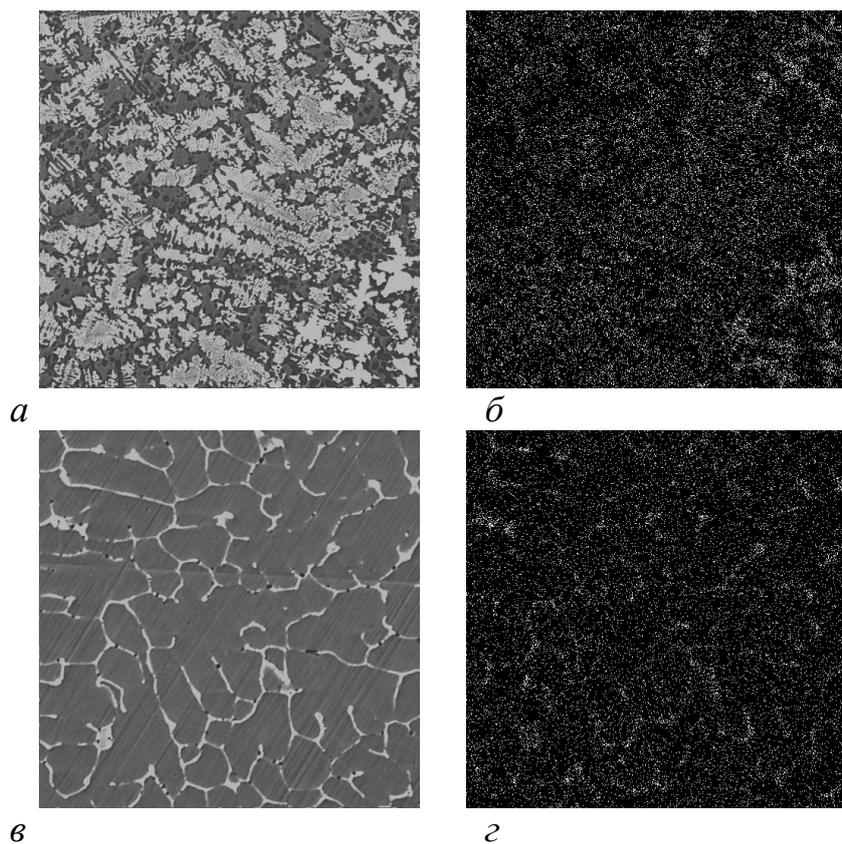


Рисунок 1 – Микроструктуры однослойного (*a, б*) и двухслойного (*в, з*) покрытия ПГСР4-70% WC в отраженных электронах (*a, в*) и в характеристических излучениях (*б, з*)

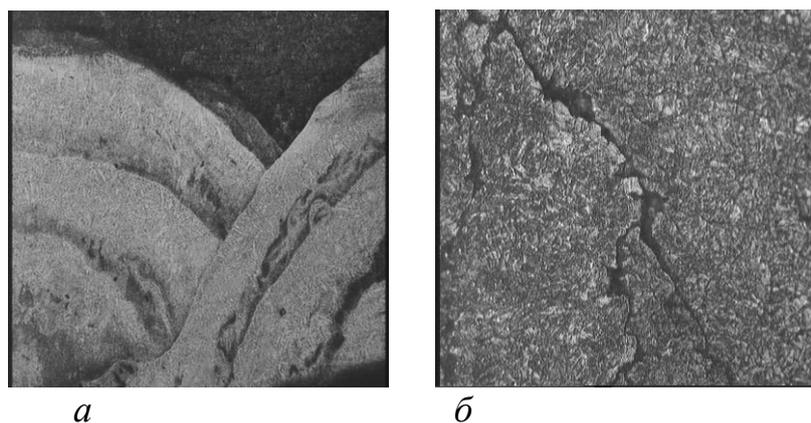


Рисунок 2 – Микроструктура зон перекрытия дорожек оплавления (*a*) и трещины в двухслойном шликерном покрытии ПГСР4-70% WC после оплавления (*б*) ( $\times 500$ )

Анализ микроструктур исследуемых покрытий и дефектов, возникающих в процессе оплавления, показал, что концентрация WC (70% вес) в со-

ставе композиции ПГСР4-WS оказалась чрезмерной, что вызвало необходимость снижения содержания WS в покрытии.

На рисунке 3 представлена структура двухслойного покрытия ПГСР4-44%WS, в поверхностном слое которого содержатся однородно распределенные в никельхромовой матрице кристаллы WS. Установлено, что оплавление электронным пучком покрытия из ПГСР4 сопровождается дополнительным образованием твердых соединений  $Ni_3B$ ,  $Ni_2B$ . Данное покрытие показало наиболее высокие значения микротвердости ( $H_{\mu} = 1600$  МПа) и абразивной износостойкости ( $K_{и} = 5$ ) по сравнению с предыдущими составами. В процессе абразивного изнашивания покрытия такого состава на поверхности не наблюдалось задиров и царапин. При этом не было зафиксировано измельчения кристаллов. По-видимому, основным механизмом изнашивания в этом случае является усталостное выкрашивание твердой фазы.

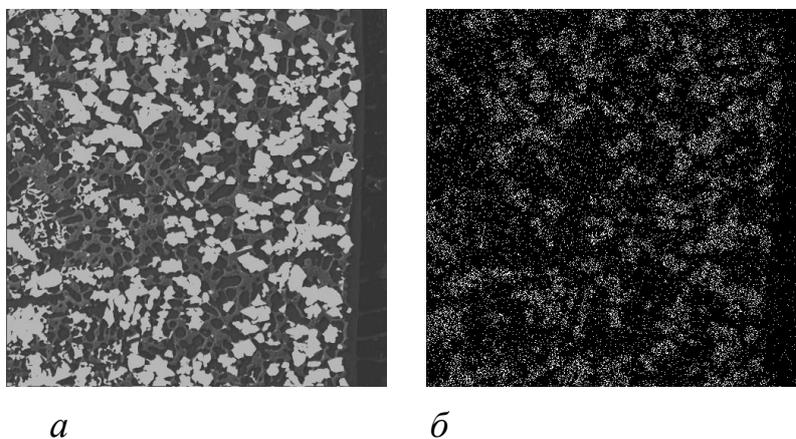


Рисунок 3 – Микроструктуры двухслойного покрытия ПГСР4-44%WS в отраженных электронах (а) и в характеристических излучениях (б)

Таким образом, проведенные исследования композиционных покрытий на основе хромоникелевых самофлюсующихся сплавов показали следующее. На интенсивность и характер протекания процесса изнашивания оказывают влияние как характер структуры, определяемый способом нанесения покрытия и режимами электронно-лучевого оплавления, так и концентраций тугоплавкого соединения WS. Добавки карбида вольфрама обеспечивают значительное упрочнение никелевой матрицы за счет частичного растворения в никеле вольфрама (до 7 ат. %), что уменьшает процесс ее деформирования и царапания.

Выводы:

1. Наибольшей эффективностью с точки зрения упрочнения длинномерных изделий небольшой толщины (лопатки эксгаустера аглодоменного производства), экономичностью и простотой обладает комплексная технология, включающая электронно-лучевое оплавление двухслойных шликерных обмазок порошковых композиций ПГСР4-44%WS.

2. Рациональный выбор режимов электронно-лучевого оплавления, состава композиционного покрытия (ПГСР4-44%WC) обеспечил повышение твердости на 50 %, абразивной износостойкости в 5 раз по сравнению с закаленной сталью 35ХГСА.

#### Библиографический список

1. Панин В.Е., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Белюк С.И. и др. Электронно-лучевая наплавка износостойких композиционных покрытий // Физика и химия обработки материалов. – 1997. – № 2. – С. 54 – 58.
2. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование технология, свойства покрытий // Сварочное производство. – 2000. – № 2. – С. 34 – 38.

УДК 621.771.262

## **УМЕНЬШЕНИЕ КОНЦЕВОЙ КРИВИЗНЫ РЕЛЬСОВ ПРИ ПРОКАТКЕ**

Дорофеев С.В., Дорофеев В.В., Перетяцько В.Н.,  
Юрьев А.Б., Громов В.Е.

*ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»,  
Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В связи со значительным повышением скоростей движения подвижного состава в последнее время проблема прямолинейности рельсов становится особенно актуальной. Требования ГОСТа 351685-2000 по прямолинейности всей длины рельсов и их концов (отклонения концов от прямолинейности рельса в горизонтальной плоскости на базовой длине 1,5 м не должна превышать 0,5 мм для рельсов Р65 категории Т1) могут быть удовлетворены за счет нового способа прокатки при использовании двух универсальных калибров [1].

Одной из основных причин возникновения концевой кривизны рельсов после прокатки является наведение высоких остаточных напряжений за счет неравномерности распределения деформаций по высоте элементов профиля. Для устранения причин искривления рельсов после прокатки необходимо изменение системы калибровки при прокатке с целью достижения равномерного распределения деформации по элементам сечения. Это снизит остаточные напряжения и вероятность потери устойчивости от их действия. Наиболее оптимальным вариантом для достижения эффекта является прокатка рельсов в универсальном четырехвалковом калибре с обжатием элементов вдоль оси симметрии.

По этой схеме прокатки предполагается существенная деформация головки рельса прямым давлением ролика в предчистовом универсальном

трехвалковом калибре, достигающая 4,0 – 6,0 мм, и контроль в нем фланцев в полузакрытом ручье нижнего валка. При разработке калибровки и конструкции чистового универсального калибра учтен опыт прокатки рельсов в чистовом универсальном калибре с большим обжатием по высоте [2]. Контроль ширины подошвы, обжатие шейки и подошвы в предчистовом калибре происходит в двухвалковом участке, обжатие головки – в трехвалковом участке калибра с использованием профильного ручья вертикального валка и разъемами между буртами вертикального валка и торцами горизонтальных валков в местах закругления боковых поверхностей головки малым радиусом со стороны накладочной пазухи.

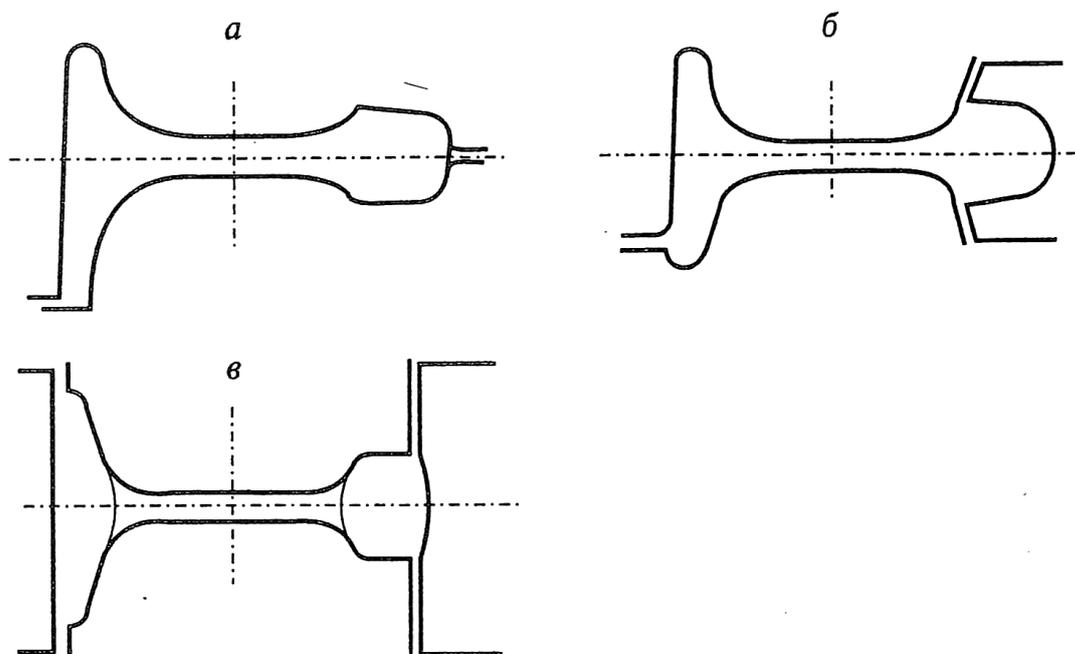
В разработанном способе в чистовом четырехвалковом калибре предусматривается оформление профиля с минимальной деформацией по элементам, не превышающей 1,07. Калибр имеет конструкцию, в которой катающая поверхность головки профиля деформируется боковым роликом с разъемом калибра по головке в месте сопряжения бокового радиуса 15 мм и радиуса выкружки головки 80 мм. Конструкция предусматривает во время прокатки постоянное соприкосновение контактных плоскостей этого ролика с горизонтальными валками с целью создания жесткого узла калибра, оформляющего головку профиля, который был бы независим от изменения величины обжатия головки и колебания температуры прокатки. В данном калибре также гарантируется четкое оформление радиусов в нижней части головки рельса.

Размеры и оформление головки рельса из предчистового калибра во время прокатки постоянны и мало зависят от температуры раскатов и перепада температур между передним и задним концом раската, что позволяет четко оформлять радиус сопряжения поверхности катания с боковыми поверхностями головки рельса в чистовом калибре, даже несмотря на то, что в чистовом универсальном калибре в этих местах находятся разъемы калибра.

На рисунке 1 показаны три последних калибра по ходу прокатки нового способа прокатки рельсов. В предчистовом трехвалковом калибре контроль ширины подошвы, обжатие шейки и подошвы рельса осуществляются в двухвалковом участке калибра, а обжатие головки – в профильном ручье вертикального валка с разъемами между буртами вертикального валка и торцами горизонтальных валков в местах закругления боковых поверхностей головки малым радиусом со стороны накладочной пазухи. В чистовом четырехвалковом калибре разъемы между буртами вертикального валка и торцами горизонтальных валков со стороны головки рельса выполнены в местах сопряжения поверхности катания с боковыми поверхностями головки рельса.

Опытные прокатки рельсов Р65 по данной технологии показали, что получение профиля по требуемому геометрическому оформлению в основном зависит от настройки предчистового универсального калибра, от точного совпадения горизонтальных осей двухвалкового участка калибра и вертикального ролика. При достаточно точной настройке предчистового калибра,

получение готового рельса в чистовой универсальной клетке трудностей не составляет. Анализ качества рельсов, полученных при использовании нового способа прокатки рельсов с двумя универсальными калибрами, выявил улучшение прямолинейности рельсов по универсальному варианту, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях по сравнению с рельсами, прокатанными по обычной технологии. Особое улучшение произошло по концевой кривизне, которое составило порядка 150 – 200 мкм.



*а* – вспомогательный двухвалковый; *б* – предчистовой трехвалковый;  
*в* – чистовой четырехвалковый калибр

Рисунок 1 – Схема прокатки рельса в последних калибрах

Производство рельсов с использованием универсальных калибров на последней стадии прокатки позволило улучшить прямолинейность рельсов в горизонтальной и вертикальной плоскостях на 25 – 35 %.

#### Библиографический список

1. Пат.2241556 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 21 В 1/08, В 21 В 108;02. Способ прокатки рельсов [Текст] / Павлов В.В., Дорофеев В.В., Кравченко Е.Л., Пятайкин Е.М., Юнин Г.Н., Ерастов В.В.; патентообладатель ООО «Рельсы Кузнецкого металлургического комбината». – № 2003124405/02; заявл. 04.08.03; опубл. 10.12.04. Бюл. № 34 (III ч). – 7 с.: ил.
2. Павлов В.В. Разработка прогрессивных калибровок и технологий прокатки на станах Новокузнецкого металлургического комбината [Текст] / В.В. Павлов, В.В. Дорофеев, Е.М. Пятайкин, В.В. Ерастов. – Новосибирск: Наука, 2006. – 224 с.

## ПЛАЗМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЛИТЫХ ЧУГУННЫХ ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ АРМАТУРЫ\*

ЕФИМОВ О.Ю., ЮРЬЕВ А.Б., ЧИНОКАЛОВ В.Я., СИМАКОВ В.П.,  
ГРОМОВ В.Е., КОНОВАЛОВ С.В.

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,  
ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»,  
Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Важной проблемой, в значительной степени определяющей показатели работы станков, является повышение стойкости чугунных валков для прокатки арматуры. Одним из направлений ее решения является плазменная закалка рабочей поверхности калибров валков.

Целенаправленное управление эксплуатационными свойствами сталей и сплавов, разработка оптимальных режимов их упрочнения должны базироваться на знании процессов структурообразования при различных технологических воздействиях. Для решения вышеуказанной технологической задачи необходимо исследование физической природы и закономерностей формирования и эволюции структурно-фазовых состояний на различных масштабных уровнях в литых чугунных валках в процессе плазменного упрочнения и последующей эксплуатации [1 – 2].

В настоящей работе методами современного физического материаловедения проанализировано формирование структурно-фазовых состояний из чугуна СШХНФ для прокатки арматурных профилей при плазменном упрочнении (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав исследованных материалов

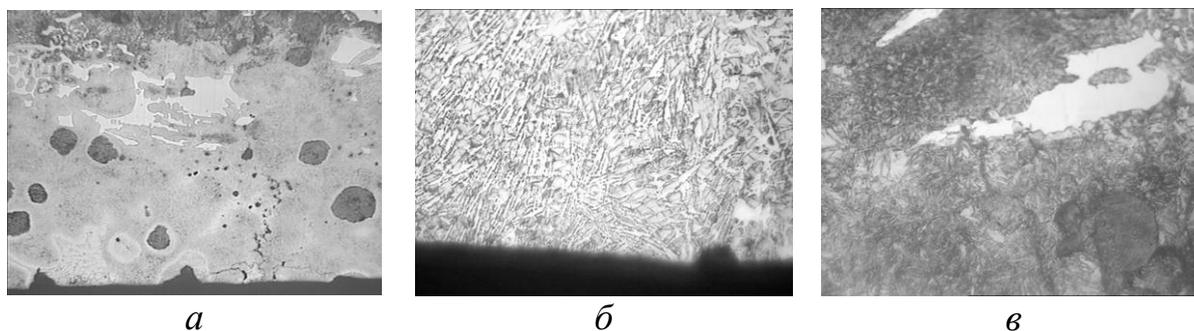
Марка	Содержание элементов, %				
	углерод	кремний	марганец	сера	фосфор
не более					
чугун СШХНФ	3,3–3,5	1,35–1,7	0,5–0,65	0,02	0,2

Плазменную поверхностную обработку образцов и прокатных валков проводили на опытно-промышленной установке, выполненной на базе наплавочной установки УПН-303, преобразование которой заключалось в подключении источника питания АПР-403 и плазмотрона косвенного действия

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ Федерального агентства по образованию в рамках реализации Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009 – 2010 гг.)» (проект 2.1.2/546).

типа ПУН-3.

На рисунке 1 представлены результаты металлографического исследования структуры модифицированных слоев чугуна СШХНФ с шаровидным графитом после плазменной обработки.



*а* – общий вид зоны плазменного воздействия ( $\times 200$ );  
*б, в* – зоны оплавления и термического влияния ( $\times 800$ )

Рисунок 1 – Микроструктуры поверхностного слоя чугуна СШХНФ после плазменной обработки

Полученные данные позволяют выявить закономерности влияния режимов обработки на толщину и структуру поверхностных слоев валкового чугуна (таблица 2), а именно формирование упрочненного слоя, состоящего из зоны оплавления (рисунок 1, *б*) с твердостью 1000 – 1100 HV и структурой мелкодисперсного аустенита и цементита, и зоны термического влияния с твердостью 400 – 990 HV и структурой мартенсита, остаточного аустенита и графита (рисунок 1, *в*).

Температура плазмы, сформированной непосредственно между катодом и анодом, достигает 10000 – 12000 °С, а обработка поверхности детали выполняется выходящей из плазмотрона плазменной струей. Основные технические характеристики установки плазменного упрочнения с применением дуги косвенного действия:

Плазмотрон:

мощность дуги, кВт	80
ток дуги, А	400
напряжение дуги, В	200
давление плазмообразующего газа, МПа	0,6
расход плазмообразующего газа, м <sup>3</sup> /ч	3-5
диаметр сопла плазмотрона, см	0,6-1,8
расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	0,21

Источник питания АПР-403:

напряжение холостого хода, В	200
номинальный ток рабочий, А	400
потребляемая мощность при номинальном токе, кВт	$\leq 70$
номинальный режим работы, % ПВ	100

При плазменной обработке плотность мощности теплового потока существенно и нелинейно связана как с термодинамическими характеристиками материала, так и с основными параметрами процесса – силой тока дуги и скоростью обработки. Это дает возможность довольно гибко управлять процессом поверхностного термоупрочнения, а именно структурообразованием и величиной модифицированного слоя, которые обеспечивают повышение в разы эксплуатационных свойств калибров валков: износостойкость, жаростойкость и др. Для разработки технологии плазменного упрочнения валкового чугуна СШХНФ представляет интерес изучение особенностей формирования модифицированных слоев в широком энергетическом диапазоне обработки [3, 4].

Таблица 2 – Параметры плазменной обработки образцов из чугуна СШХНФ

Режим обработки		Погонная энергия, $0,05 \times Vt \text{ с/см}^3$	Температура поверхности $t, \text{ }^\circ\text{C}$	Величина зон, мм		Зона упрочнения (расч.), мм
I, А	V, см/с			ЗО	ЗТВ	
150	2,0	663	820	- / -	0,030	0,27
150	1,4	950	980	- / -	0,55	0,75
150	0,9	1470	1225	- / -	0,84	1,30
180	1,5	1060	1140	- / -	0,66	1,02
180	1,0	1590	1395	- / -	1,04	1,60
200	1,4	1260	1200	- / -	0,78	1,20
250	1,3	1700	1670	0,25	1,10	1,75
300	1,0	2650	2300	0,40	1,47	2,35

С целью изучения изменений структуры, твердости и других свойств модифицированной поверхности моделировали температурный режим нагрева поверхности валков при прокатке. Изотермический отпуск приводит к общему снижению микротвердости упрочненных слоев (рисунок 2). В конечном итоге микротвердость упрочненных поверхностных слоев остается на уровне 600 – 700 HV.

Металлографические исследования показывают, что после низкотемпературной термической обработки (с температур ниже фазового превращения) в упрочненном слое сохраняются зоны плавления и термического влияния, что положительно сказывается на эксплуатационных свойствах чугуна.

Плазменное упрочнение практически в два раза повышает износостойкость поверхности чугуна в сравнении с литой основой, что объясняется формированием твердой аустенитно-мартенситной структуры (рисунок 3).

Результаты промышленных испытаний показали повышение стойкости валков чистовых клетей для прокатки периодических арматурных профилей в 1,8 раза по сравнению с нормативной стойкостью, при этом обработка проводилась в оптимальном диапазоне погонной энергии 950 – 1400 Вт·с/см<sup>3</sup> (таблица 3).

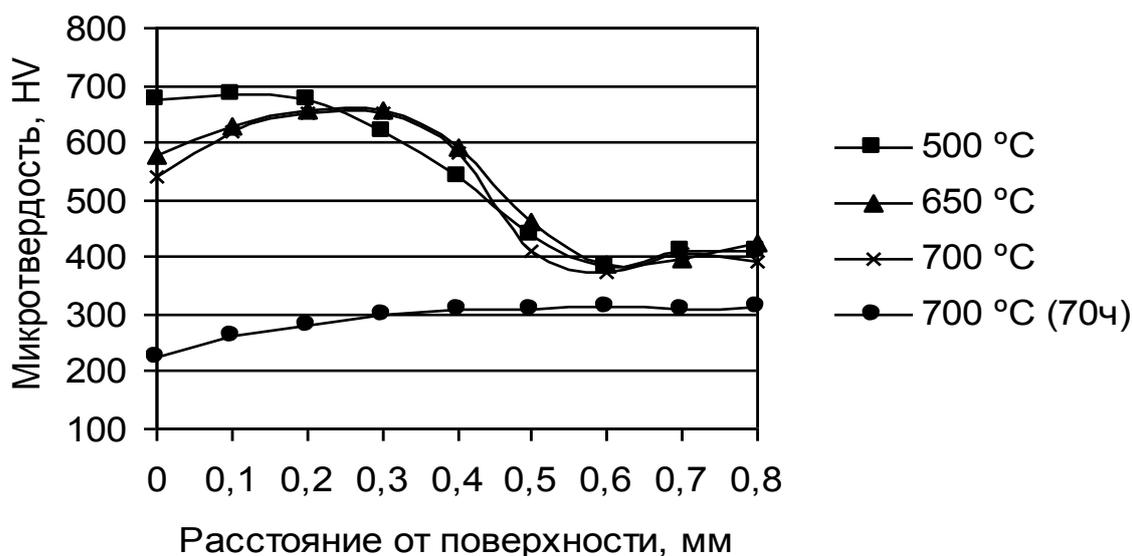


Рисунок 2 – Влияние температуры отпуска на микротвердость упрочненного слоя чугуна марки СШХНФ (время выдержки 2 ч)

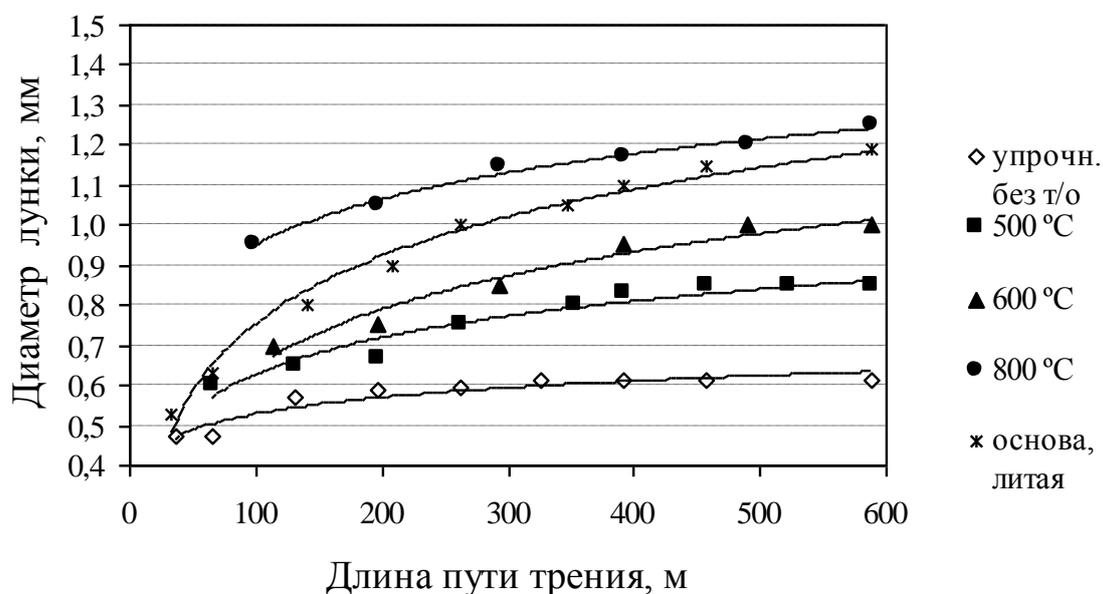


Рисунок 3 – Влияние температуры отпуска на износостойкость упрочненных поверхностных слоев чугуна

Таблица 3 – Упрочнение и промышленные испытания валков

Диаметр валков, мм	Режим обработки			Прокатано металла	Удельный износ, мм/100 т		Превышение нормативной стойкости, %
	сопло, мм	I, А	V, см/с		неупр.	упроч.	
530	12	130	2,0	673	0,075	0,07	+18
505	12	150	1,7	986	0,175	0,089	+73
505	12	150	1,5	1026	0,175	0,08	+80

Результаты выполненных исследований положены в основу разработки технологии плазменного упрочнения калибров валков для прокатки арматурных профилей.

#### Библиографический список

1. Юрьев А.Б., Ефимов О.Ю., Иванов Ю.Ф. и др. Плазменное упрочнение валков сортопрокатного стана: структурно-масштабные уровни модификации чугуна // Физическая мезомеханика. – 2006. – № 2. – С. 97 – 105.
2. Юрьев А.Б., Иванов Ю.Ф., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. и др. Структурно-фазовые состояния валков после плазменного упрочнения и эксплуатации // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2006. – № 8. – С. 63 – 67.
3. Юрьев А.Б., Чинокалов В.Я., Ефимов О.Ю. и др. Влияние плазменной обработки поверхности на структуру и твердость чугуна с шаровидным графитом // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2006. – № 6. – С. 34 – 37.
4. Ефимов О.Ю. Структурно-фазовые состояния и технология производства упрочненной стальной арматуры и чугунных валков. Новокузнецк: СибГИУ. – 2008. – 300 с.

УДК 669.3/7

## ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ АЛЮМИНИЯ И МЕДИ ПРИ ВНЕШНЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

ФИЛИППЕВ Р.А., КОНОВАЛОВ С.В., КОТОВА Н.В.,  
СТОЛБОВУШКИНА О.А., ГРОМОВ В.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Измерение микротвердости – один из широко распространенных видов механических испытаний [1]. Пользуясь им, можно осуществлять быстрый и точный контроль качества изделий и материалов, а также проводить многочисленные физико-химические исследования, связанные с распознаванием веществ и изучением их свойств, фазовых и структурных превращений. В самом общем случае микротвердость является интегральным свойством, которое определяется многими механическими характеристиками изучаемого тела (пластичностью, пределом упругости, прочностью).

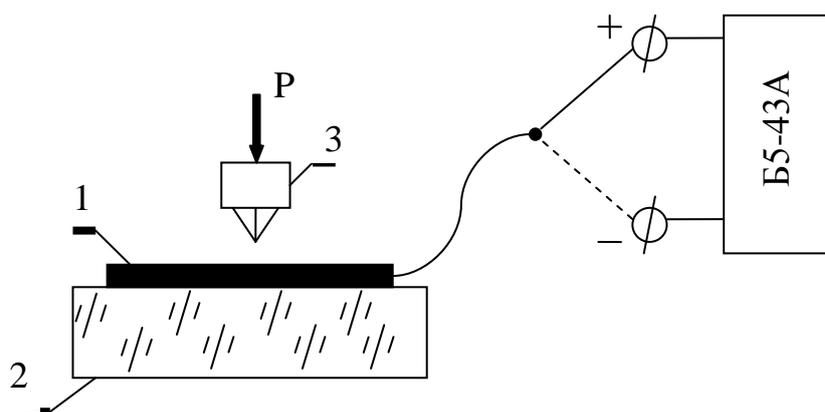
Микротвердость определяется методом индентирования. С его помощью можно достаточно быстро и точно рассчитать микротвердость материала по размеру отпечатка индентора на поверхности образца. Еще одно достоинство метода локального нагружения образца жестким индентором: малый объем деформируемого материала и особый характер полей напряжения уменьшают склонность к макроскопическому разрушению. Это позволяет

использовать образец для многократных испытаний.

В связи с изложенным очевидно, что при определенных воздействиях на образец его микротвердость будет изменяться. И по этим изменениям можно судить об изменении механических характеристик материала.

В частности, наложение электрического потенциала на металл, подвергающийся пластической деформации, влияет не только на его физические свойства, но и на процесс деформации. Так, например, в работах [3] и [4] было обращено внимание на факт изменения скорости ползучести металлов, деформируемых в электрическом контакте с другим металлом. При этом наиболее заметный эффект наблюдался при изменении потенциала порядка 1 В.

В данном исследовании для изменения электрического состояния исследуемого образца был применен способ, который заключался в том, что к изолированному образцу, подвергаемому испытанию на микротвердость, от внешнего стабилизированного источника постоянного тока подводился положительный или отрицательный потенциал разной величины (рисунок 1).



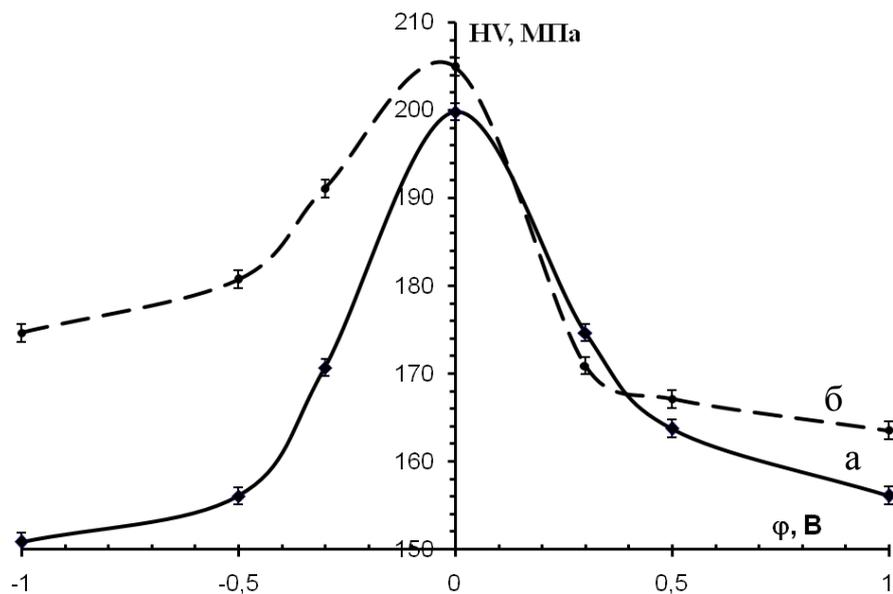
1 – образец; 2 – изоляционный слой; 3 – индентор;  
P – нагрузка на индентор

Рисунок 1 – Схема подключения электрического потенциала к исследуемому на микротвердость образцу от источника постоянного тока

Установленная зависимость изменения микротвердости алюминия от электрического потенциала представлена на рисунке 2.

Измерения выполнены на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке на индентор 10 и 20 г, время нагружения во всех опытах составляло 20 с. Каждая точка на графике получена по результатам усреднения и статистической обработки не менее чем 30 измерений. Для исключения ошибок при проведении измерений все эксперименты проводились одним оператором.

Также были проведены измерения микротвердости при подключении потенциала для Zr, Fe-3%Si и Cu, данные экспериментов представлены на рисунках 3, 4 и 5.



а – с нагрузкой на индентор 10 г; б – с нагрузкой 20 г

Рисунок 2 – Зависимость микротвердости образца из алюминия от электрического потенциала

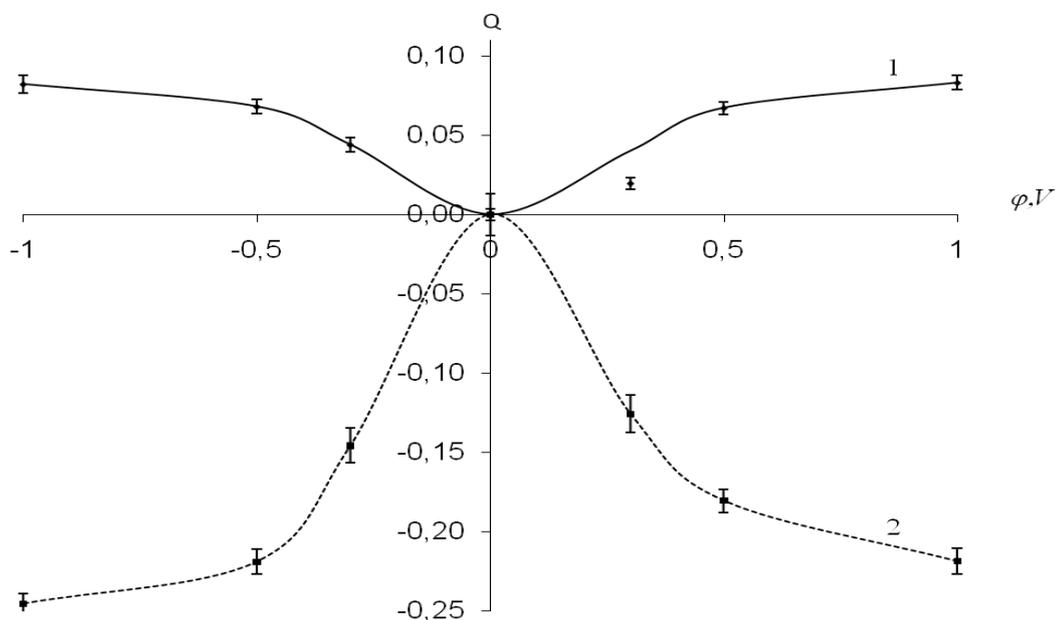


Рисунок 3 – Зависимости относительного изменения микротвердости от электрического потенциала при микроиндентировании образца из Zr (кривая 1) и Al (кривая 2)

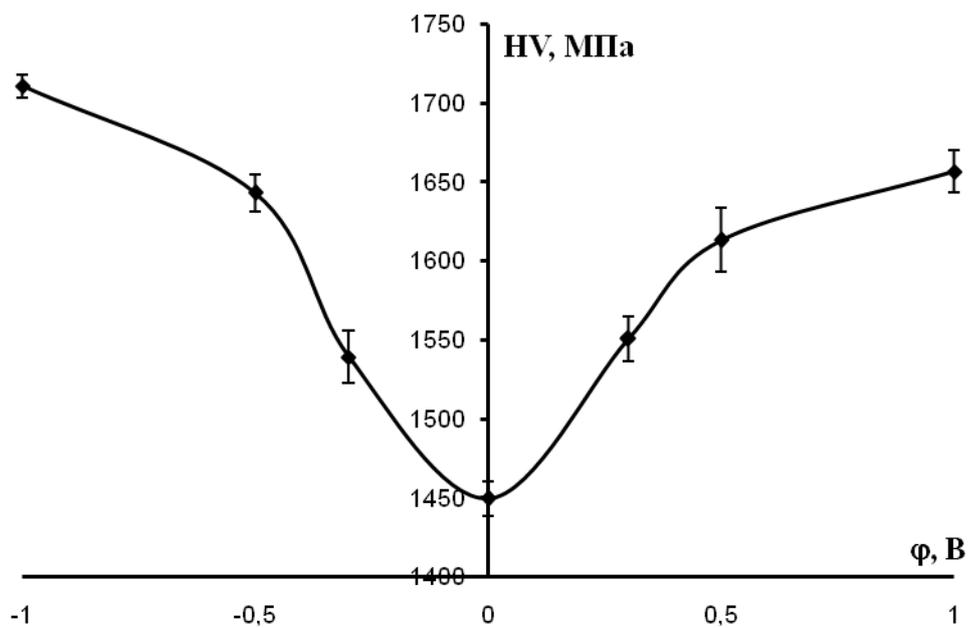
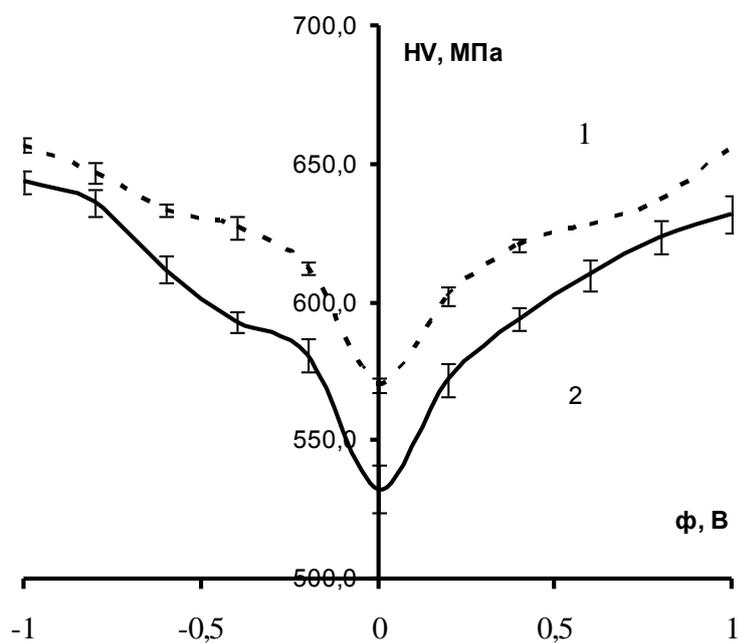


Рисунок 4 – Зависимость изменения микротвердости образца из Fe-3%Si от электрического потенциала (нагрузка на индентор 100 г)



1 – с нагрузкой на индентор 30 г, б – с нагрузкой 50 г

Рисунок 5 – Зависимость микротвердости образца из меди от электрического потенциала

Из рисунков 3, 4, 5 видно, что влияние электрического потенциала имеет симметричный характер как и при ползучести алюминия [2] относительно оси ординат, причем дальнейшее увеличение (по модулю) электрического потенциала ведет к насыщению значений микротвердости.

В ходе проведенных исследований было установлено, что электрический потенциал влияет на характер поведения материала, причем дальнейшее увеличение (по модулю) электрического потенциала ведет к насыщению значений микротвердости.

Показано, что значение микротвердости алюминия уменьшается при подключении потенциала. При проведении подобных исследований с другими металлами (Zr, Cu) и сплавами (Fe-3%Si) было установлено, что при воздействии электрического потенциала на другие металлы зависимость обратная, т.е. значение микротвердости увеличивается.

#### Библиографический список

1. В.М. Глазов, В.Н. Вигдорович Микротвердость металлов. М.: Metallurgizdat, 1962. – 224 с.
2. Коновалов С.В., Данилов В.И., Зуев Л.Б. и др. О влиянии электрического потенциала на скорость ползучести алюминия // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49. – Вып. 8. – С. 1389 – 1391.
3. Кишкин Т.С., Клыпин А.А. О пластической деформации металлов при наличии электрического воздействия// Проблемы прочности. – 1975. – № 7. – С. 20 – 25
4. Кишкин Т.С., Клыпин А.А. Эффект электрического и магнитного воздействия на ползучесть металлов и сплавов // Докл. АН СССР. – 1973. – Т. 211. – № 2. – С. 325 – 327.

УДК 669.187.25

## **ВОЗМОЖНОСТИ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЖИДКОГО ЧУГУНА**

КОЗЫРЕВ Н.А., АЛЕКСАНДРОВ И.В., ЮРЬЕВ А.Б., ГОДИК Л.А., ГРОМОВ В.Е.

*ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»,  
Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Интерес к использованию чугуна при выплавке стали в дуговых электросталеплавильных печах традиционно высок и обусловлен рядом технологических и экономических преимуществ. Среди распространенных вариантов заливки чугуна в печь (сверху при открытом своде печи; через рабочее окно по съемному желобу, через стационарный желоб) наибольшее распространение на ОАО «НКМК» получил 1 способ – сверху через шиберный за-

твор или сливной носок чугуновозного ковша. Разработанные технологии использования жидкого чугуна при плавке стали в дуговых электропечах предполагают использование до 40 % жидкого чугуна от массы металлозавалки [1 – 4]. В связи с ростом цен на металлолом и ухудшением его качества, особенно по загрязнённости цветными и легированными металлами, в условиях ОАО «НКМК» разработана технология выплавки стали с увеличением доли жидкого чугуна до 450 – 640 кг/т.

Для опытных плавки провели расчет шихты для выплавки рельсовой стали с использованием жидкого чугуна и оценили тепловой баланс плавки. Расчет проводили при различных соотношениях доли лома и чугуна в шихте. Результаты расчета при различной основности шлака приведены в таблице 1.

Общее количество тепла, поступившего с металлошихтой и в результате протекания экзотермических реакций, а также эквивалентный ему расход электроэнергии на 1 т стали, приведены в таблице 2.

Опытные плавки проводили по двум вариантам шихтовки:

1. Заливка жидкого чугуна на «болото» и завалка бадьи металлолома;
2. Завалка бадьи металлолома, плавление и заливка жидкого чугуна.

При нормативном расходе жидкого чугуна обычно делается одна подвалка. Увеличенный расход жидкого чугуна позволил исключить подвалки. Сравнительный анализ технологических параметров обоих вариантов технологии с повышенным расходом жидкого чугуна, а также с нормативным расходом жидкого чугуна приведён в таблице 3.

Как видно из таблицы 3 технология выплавки стали с повышенным расходом жидкого чугуна по сравнению с существующей технологией характеризуется существенным сокращением расхода электроэнергии, но некоторым увеличением расхода кислорода. Это связано с тем, что вследствие повышенного количества физического и химического тепла чугуна, на опытных плавках дуговой нагрев отключали вскоре после расплавления и нагрев ванны производили за счёт тепла реакций окисления примесей.

Сравнительный анализ вариантов шихтовки показывает, что каждый вариант имеет свои преимущества и недостатки, анализ которых выходит за рамки данной статьи.

Однако результаты исследований выплавки рельсовой стали с повышенным расходом жидкого чугуна на ОАО «НКМК» показывают, что при выплавке стали в современной электропечи возможно увеличение доли жидкого чугуна до 640 кг/т стали, однако наиболее целесообразно работать в диапазоне 450 – 600 кг/т стали, используя две технологии шихтовки плавки. Кроме того, качество рельсового металла, выплавленного по обоим вариантам с повышенным расходом жидкого чугуна, несколько лучше, чем выплавленного по обычной технологии.

Таблица 1 – Результаты расчета шихты при различной основности шлака

Масса чугуна, т	Содержание элементов по расплавлению				Масса извести в завалке, кг		Шлак периода расплавления		Масса шлака окислительного периода, т	Масса окисленного углерода, т	Продолжительность окислительного периода, ч
	C	Mn	P	S	R=2,5	R=3,0	R=2,5	R=3,0			
30	1,47	0,26	0,034	0,028	2520,6	3024,7	4796	5299	11,1	0,74	0,8
40	1,86	0,26	0,039	0,031	2899,1	3478,9	5307	5887	13,6	1,13	1,23
50	2,25	0,26	0,045	0,034	3277,4	3932,8	5816	6472	16,6	1,52	1,69
60	2,65	0,26	0,051	0,036	3655,6	4386,7	6325	7056	19,7	1,92	2,13
70	3,03	0,27	0,057	0,039	4033,5	4840,2	6834	7639	22,7	2,30	2,56
90	3,82	0,27	0,095	0,045	4790,0	5748,0	7868	8826	41,8	3,09	3,43

Примечание: масса завалки – 110 т, R – основность шлака CaO/SiO<sub>2</sub>

Таблица 2 – Приход тепла при использовании чугуна в завалке

187

Кол-во чугуна, т	С использованием жидкого чугуна				С использованием твердого чугуна			
	приход тепла, кДж			Снижение расхода электроэнергии, кВт·ч/т	приход тепла, кДж			Снижение расхода электроэнергии, кВт·ч/т
	металло-шихта	экзотермические реакции	итого		металло-шихта	экзотермические реакции	итого	
15	10293374	15321785,6	25615159,6	64,7	1025570	15321785,6	16347355,6	41,3
20	13386828	19574041,6	32960869,6	83,2	1029756	19574041,6	20185197,6	51,0
30	19573736	28233180,2	47806916,2	120,7	1038128	28233180,2	29271308,2	73,9
40	25760644	36926639,9	62687283,9	158,3	1046500	36926639,9	37973139,9	95,9
50	31947552	45604268,2	77551820,2	195,8	1054872	45604268,2	4665912,3	117,8

60	38134460	54451345,7	92585805,7	233,8	1063244	54451345,7	5551456,5	140,2
70	44321368	62959528,8	107280896, 8	270,9	1071616	62959528,8	6403110,7	161,7
90	56695184	80553433,3	137248617, 3	346,6	1088360	80553433,3	8164177,7	206,2

Таблица 3 – Параметры опытных плавков

Технологический параметр	Вариант технологии		
	1	2	существующий
Масса шихтовки, т	123,7	125,7	125,8
Масса завалки, т*	<u>63,8</u> 0,580	<u>65,3</u> 0,594	<u>89,5</u> (с подвалкой) 0,814
Масса жидкого чугуна, т*	<u>59,9</u> 0,544	<u>60,4</u> 0,549	<u>36,3</u> 0,330
Длительность завалки и заливки, мин	7,5	9,4	9,1
Длительность плавки, мин	55,9	55,4	53,8
Длительность плавления, мин	29,7	32,3	36,1
Длительность доводки, мин	26,2	23,1	17,7
Расход электроэнергии, кВт·ч/пл*	<u>28168</u> 256,1	<u>28468</u> 258,8	<u>36783</u> 334,4
Расход кислорода, м <sup>3</sup> /пл*	<u>4755</u> 43,2	<u>4388</u> 39,9	<u>4049</u> 36,8
Расход извести в печь, кг*	<u>6839</u> 62,2	<u>6439</u> 58,5	<u>7436</u> 67,6
Углерод расплавления, %	1,23	1,38	1,12
Скорость выгорания углерода, %/мин	0,03	0,05	0,05
Фосфор расплавления, %	0,028	0,027	0,025
Фосфор выпуска, %	0,013	0,014	0,014
Содержание остаточных элементов в стали			
Cr	0,07	0,08	0,09
Cr	0,05	0,06	0,07
Ni	0,09	0,09	0,13
Cu	0,21	0,23	0,29

\*В знаменателе даны удельные расходы на 1 тонну стали.

#### Библиографический список

1. Катунин А.И., Годик Л.А., Анашкин Н.С. и др. Разработка технологии выплавки стали в электропечах с использованием жидкого чугуна // Сталь. – 2000. – № 5. – С. 33 – 35.
2. Катунин А.И., Козырев Н.А., Данилов А.П. и др. Экономические и технологические аспекты использования жидкого чугуна при выплавке стали в дуговых электропечах // Известия вузов. Черная металлургия – 2001. – № 4. – С. 24 – 26.
3. Годик Л.А., Козырев Н.А., Обшаров М.В. и др. Технология выплавки рельсовой стали в ДСП с использованием жидкого чугуна // Электросталь. – 2002. – № 1. – С. 40 – 41.
4. Катунин А.И., Козырев Н.А., Гилева О.В. и др. Качество рельсовой стали, выплавленной в дуговых электросталеплавильных печах с использованием жидкого чугуна // Известия вузов. Черная металлургия. – 2004. – № 4. – С. 42 – 44.

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРМАТУРНОГО ПРОКАТА**

ПОЛТОРАЦКИЙ Л.М., ЕФИМОВ О.Ю., ЧИНОКАЛОВ В.Я.,  
СИДОРОВА О.Д., ГРОМОВ В.Е.

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,  
Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Надежность и сроки эксплуатации изделий из проката находятся в прямой зависимости от содержания вредных примесей [1], одной из которых является водород, попадающий в металл на всех этапах технологической цепочки изготовления [2]. Сложная проблема водородной хрупкости до конца не решена [3] и данные по влиянию структуры на газосодержание и механические свойства проката имеют научную ценность и практическую значимость.

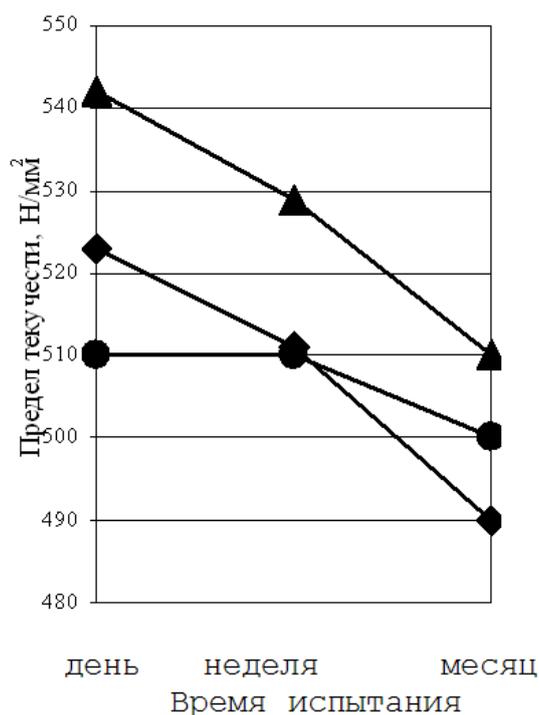
В настоящей работе проанализировано изменение механических свойств арматуры диаметром 40 мм из стали марки 18Г2С после различного срока вылеживания заготовки перед прокаткой. Анализировались 3 партии – 1 – без вылеживания, 2 – после вылеживания в течение 5 дней, 3 – после 30 дней вылеживания. Видно, что предел текучести образцов 1-й и 2-й партий с течением времени снизился на  $30 \text{ Н/мм}^2$ , а 3-й партии практически не изменился (рисунок 1).

При испытаниях на изгиб вокруг оправки диаметром  $3d$  ( $d$  – диаметр стержня) арматурные стержни 1-й и 2-й партии показали неудовлетворительные результаты. Через месяц вылеживания были получены удовлетворительные результаты.

Отсутствие изменений в структуре, незначительное изменение механических свойств арматурных стержней и успешные испытания на изгиб после вылеживания позволяют сделать предположение о водородной природе низкой технологической пластичности металла [1, 4]. Для подтверждения этого проводили эксперименты по оценке выделившегося при вылеживании арматуры водорода методом глицериновых проб [5].

Для 1-й партии (заготовка прокатывалась без вылеживания) через день и 5 дней после прокатки арматуры характерно выделение равномерно распределенных мелких газовых пузырей по всему поперечному сечению шлифа, через 30 дней выделение наблюдается только в центре стержня, что связано с ликвационной неоднородностью. На глицериновых пробах 2-й партии выделение газа по периферии сечения практически отсутствует. После вылеживания арматуры в течение пяти дней наблюдается перераспределение водорода к поверхности, после 30 дней газовыделение прекращается. В глицериновых пробах 3-й партии незначительное выделение газа наблюдается

только через день после прокатки арматуры.



◆ – 1-я партия, ▲ – 2-я партия, ● – 3-я партия

Рисунок 1 – Изменение свойств арматуры в процессе вылеживания

Таким образом, выдержка в определенном временном интервале, зависящем от объема металла, способна нормализовать механические свойства при естественном удалении избыточного водорода.

#### Библиографический список

1. Полторацкий Л.М., Громов В.Е., Чинокалов В.Я. Водород в сталях и сплавах. Современное состояние вопроса. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ. 2008. – 162 с.
2. Полторацкий Л.М., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. и др. Безкислотная технологию производства проволоки из малоуглеродистой стали. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ. 2008. – 174 с.
3. Целлермаер В.Я., Громов В.Е., Полторацкий Л.М. и др. Водородное охрупчивание феррито-перлитных сталей при волочении // Известия вузов. Физика. – 1996. – № 3. – С. 97 – 108.
4. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.
5. Гордеева Т.А., Жегина И.П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. – М.: Машиностроение, 1978. – 200 с.

## ГЕНЕРАТОРЫ МОЩНЫХ ТОКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

ЖМАКИН Ю.Д., ЗАГУЛЯЕВ Д.В., С.В. КОНОВАЛОВ,  
КУЗНЕЦОВ В.А., ГРОМОВ В.Е.

*ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»,  
Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Появление нового класса высокопроизводительных технологических приемов обработки металлов давлением (ОМД) при волочении и прокатке привело к созданию генераторов мощных токовых импульсов. Опыт, накопленный в результате длительного использования указанных генераторов, позволяет определить основные направления повышения надежности и улучшения параметров источников мощных, коротких токовых импульсов. Одной из высокоэффективных технологий, позволяющих повысить производительность и качество процессов ОМД, является обработка движущегося металла в зоне деформации импульсами электрического тока [1]. С этой целью в нашей стране и за рубежом, начиная с середины 70-х годов прошлого столетия, началась разработка и внедрение генераторов мощных импульсов тока, основанных на периодическом разряде предварительно заряженных конденсаторов, через тиристорный блок, на низкоомную активно-индуктивную нагрузку [2,3].

Упрощенная блок-схема одного из таких генераторов приведена на рисунке 1.

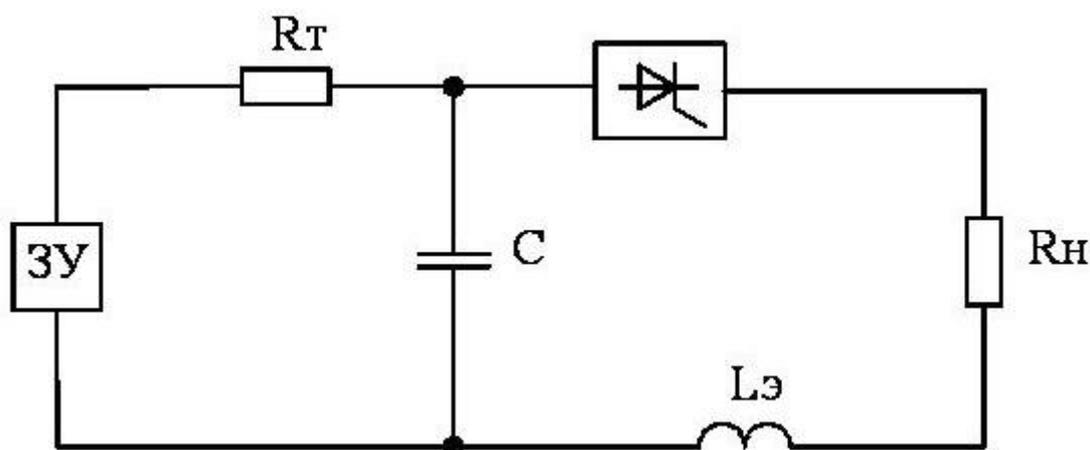


Рисунок 1 – Принципиальная блок-схема генератора импульсных токов

Она позволяет формировать униполярные импульсы синусоидальной формы длительностью 100 – 120 микс. с регулируемыми параметрами по частоте до  $10^3$  Гц и амплитуде до 10 кА.

Схема работает следующим образом: предварительно заряженный от зарядного устройства ЗУ, через токоограничивающий резистор  $R_t$ , конденсатор  $C$  периодически разряжается на низкоомную нагрузку  $R_n$ . В качестве ключа используются, как правило, тиристоры, имеющие ряд преимуществ перед другими коммутационными элементами, незначительные габариты и вес, высокую механическую прочность, малую мощность управления. Включение тиристоров происходит управляющими импульсами прямоугольной формы. А отключение – при подаче на них напряжения обратной полярности в процессе перезаряда конденсаторов. С целью повышения мощности импульса тиристорный ключ обычно содержит несколько параллельно включенных тиристоров. Для выравнивания тока в ветвях тиристоров служат специальные уравнивательные дроссели. Для увеличения надежности работы тиристорного блока между конденсаторами и нагрузкой включен насыщающийся дроссель  $L_\Sigma$ .

Качественная работа генератора возможна при выполнении специальных мероприятий:

1) Прежде всего, приняты дополнительные мероприятия к ошиновке генератора;

2) Приняты специальные меры для обеспечения надежной работы конденсаторов и тиристоров;

3) Разработана специальная схема контроля работы тиристоров и быстродействующая защита от срыва генерации;

4) Используется экономичный и рациональный режим заряда-разряда конденсаторов с использованием форсировки и способ формирования импульсов, близкой к прямоугольной форме диаграммы заряда конденсаторов для улучшения качества энергопотребления;

5) Разработаны различные схемы заряда конденсаторов;

6) Определены возможности безопасной работы и способы проведения метрологических замеров токов.

В настоящее время разработано новое поколение генераторов, основанное на новой элементной базе, использующая отличный от предыдущих генераторов принцип формирования рабочих импульсов тока в нагрузке. Блок-схема такого генератора приведена на рисунке 2.

В представленной схеме: СРН – симисторный регулятор напряжения, БЗК – блок заряда силовых конденсаторов, БК – блок силовых конденсаторов, БФРИ – блок формирования рабочих импульсов, БИФУ – блок импульсно – фазового управления симисторами, ДН – датчик напряжения заряда конденсаторов, ДР1, ДР2 – датчики температуры в рабочей зоне, и искрения щеток.

Основной принцип действия – разряд предварительно заряженных конденсаторов на обрабатываемый материал – сохраняется. В первоначаль-

ных схемах генераторов управляющие импульсы формировались посторонним генератором и не были сфазированы с питающей сетью, вследствие чего, силовые импульсы из-за влияния пульсаций выпрямленного напряжения имели колебания по амплитуде, что снижало производительность установки.

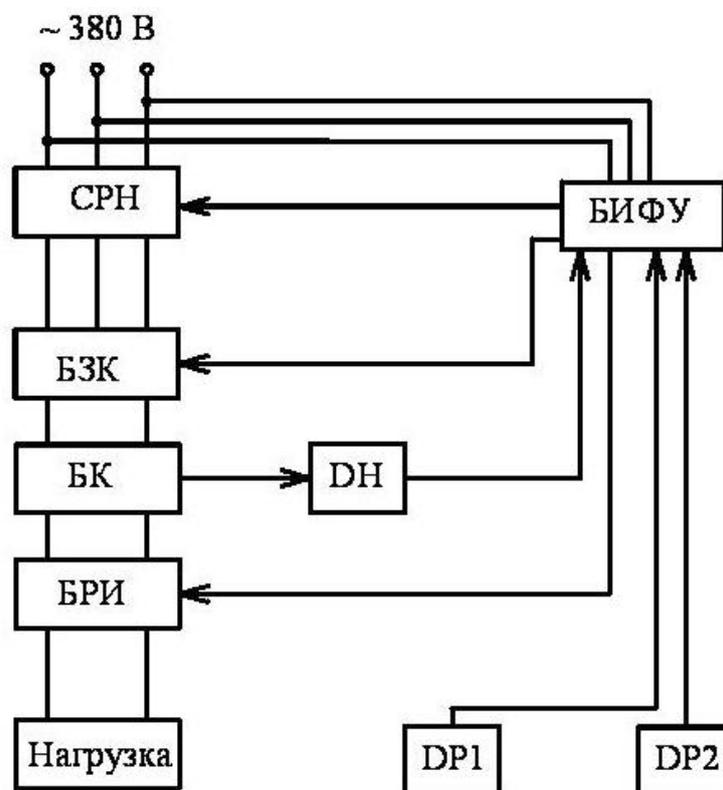


Рисунок 2 – Блок-схема генератора

В новых генераторах импульсы управления симисторами формируются в самом генераторе и сфазированы с сетью питания силовой схемы, что создает ряд преимуществ:

1) Позволяет складывать в нагрузке силовые импульсы, сформированные в разных фидерах сдвинутые относительно друг друга на 5 градусов. Это достигается путем применения различных схем включения силовых и управляющих трансформаторов в разных фидерах;

2) Позволяет использовать симисторный регулятор питающего напряжения для регулировки амплитуды силовых импульсов и для применения быстродействующей бесконтактной защиты установки.

Для бесперебойной работы схемы, а также для исключения влияния фидеров друг на друга, в схему включены различные диодные цепочки. Контроль за технологическим процессом осуществляется с помощью обратных связей от датчиков в нагрузке. Обратные связи выполняют задачи поддержания качества регулирования, защиты сигнализации. Они производят отключение установки и сигнализацию в случае возникновения сильного искрения и повышения температуры выше допустимой.

Благодаря примененным новшествам в схеме появляется возможность

получить силовые импульсы частотой до 3600 Гц и амплитудой до 30 кА, что создает новые возможности для внедрения генераторов указанного класса в промышленность.

#### Библиографический список

1. Громов В.Е., Зуев Л.Б., Козлов Э.В. Электростимулированная пластичность металлов и сплавов. – М.: Недра, 1996. – 290 с.
2. Громов В.Е., Целлермаер В.Я., Базайкин В.И. Электростимулированное волочение: структура и анализ. – М.: Недра, 1996. – 160 с.
3. Троицкий О.А., Баранов Ю.В., Аврамов Ю.С. и др. Физические основы и технологии обработки современных материалов. Т.1. – Ижевск: Изд-во ИКИ. 2004. – 590 с.

УДК 669.715.055

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЛАВА Al–11 % Si**

ПОПОВА М.В., КОНОШЕНКИНА Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время имеется достаточное количество публикаций, в которых показано, что на величину коэффициента линейного расширения (КЛР) силуминов оказывает влияние не только их химический состав, но и технология выплавки. Прежде всего, это связано с получением структуры сплавов, характеризующейся дисперсными и равномерно распределенными выделениями кремнистой фазы.

Предварительная обработка шихтовых материалов предусматривает косвенное воздействие на расплав, но, несмотря на это, может эффективно влиять на тепловое расширение сплава\*.

В настоящей работе исследовали влияние предварительной подготовки шихты на тепловое расширение сплава Al–11%Si. Обработку шихтового кремния проводили несколькими способами:

- наводороживание путем выстаивания в атмосфере водяного пара в течение 2-х и 3-х ч;
- высокотемпературный нагрев в атмосфере печи при 1040 °С в течение 4 ч;
- нагрев в титановой губке при 900 °С в течение 3,5 ч.

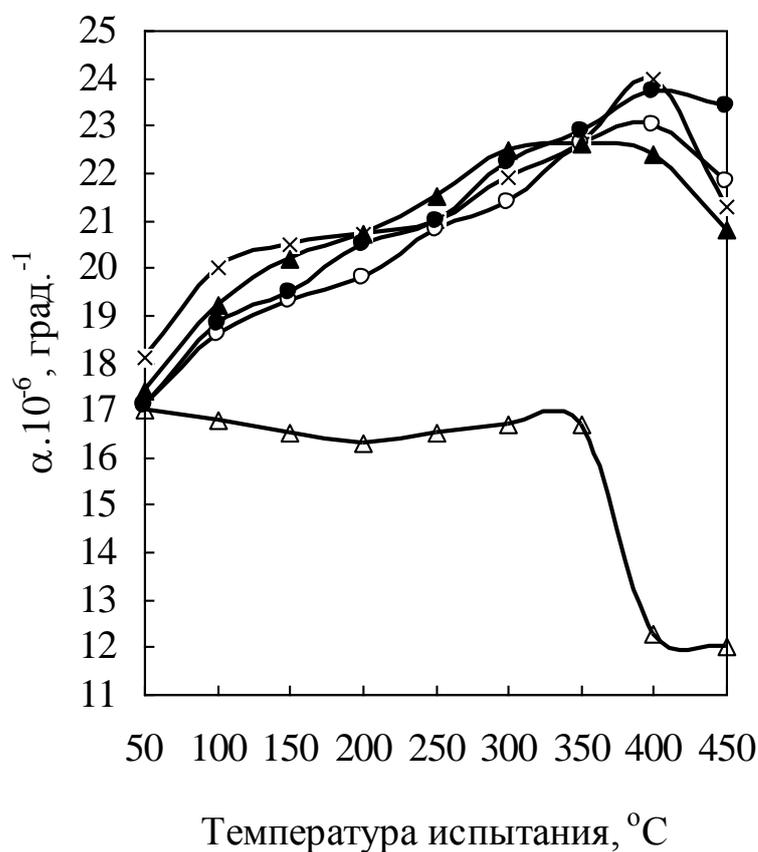
Затем расплавляли чушковый алюминий и растворяли обработанный кремний. Заливку сплава осуществляли с 720 – 800 °С в алюминиевый ко-

---

\* Легкие сплавы с малым тепловым расширением / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.А. Ружило, В.Ф. Фролов. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2000. – 376 с.

киль, подогретый до 200 °С. Из полученных слитков вырезали dilatометрические образцы и определяли КЛР.

Результаты исследования приведены на рисунке 1. Видно, что все представленные на рисунке 1 способы обработки шихты, кроме высокотемпературного нагрева, незначительно уменьшают КЛР во всем температурном интервале испытания по сравнению с исходным сплавом. Изученные режимы обработки шихтового кремния устраняют аномалию линейного расширения в интервале температур 350 – 450 °С, которая наблюдается у сплава Al–11% Si, выплавленного по обычному способу. Обработка шихтового кремния, заключающаяся в его нагреве при 1040 °С, существенно понижает коэффициент линейного расширения сплава во всем интервале температур испытаний. Такую обработку можно рассматривать как высокотемпературное окисление кремния. Возможно, что при введении такого кремния в расплав происходит частичное разложение образующейся кремнистой фазы. Вследствие этого увеличивается дисперсность выделений первичного и эвтектического кремния и снижается КЛР.

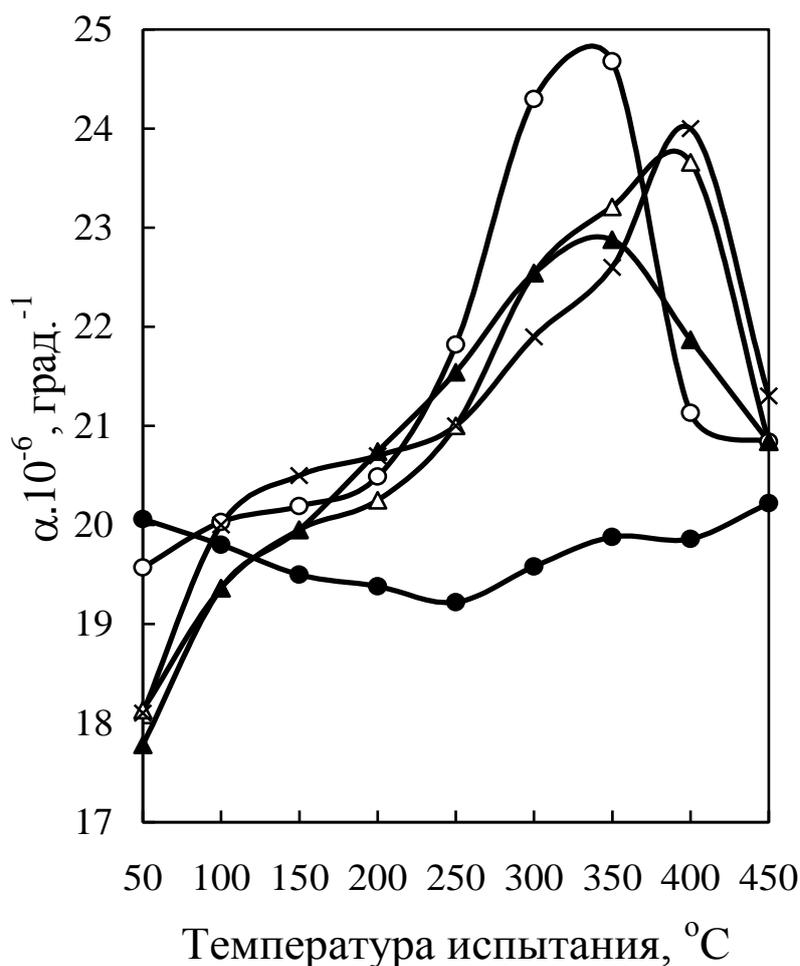


х – х – без обработки; ○ – ○ – наводороживание, 3 ч;  
 ● – ● – наводороживание, 2 ч; Δ – Δ – нагрев в муфельной печи при 1040 °С, 4 ч; ▲ – ▲ – нагрев в титановой губке при 900 °С, 3,5 ч

Рисунок 1 – Влияние обработки шихтового кремния на линейное расширение сплава Al–11% Si

Предварительная обработка расплава изменяет соотношение в нем примесных элементов, которые при кристаллизации будут управлять формированием свойств твердого металла.

Исследовано влияние способа обработки расплава, заключающегося в его наводороживании при температуре 800 – 900 °С в течение 5 – 15 мин с одновременным введением оксида кремния в количестве 1 – 5 % от массы расплава. Этот способ был разработан профессором В.К. Афанасьевым для промышленных силуминов с целью повышения их прочности и пластичности. Нами показано, что при правильно подобранных параметрах обработки, данный способ может применяться также с целью снижения КЛР (рисунок 2).



x – x – без обработки и наводороживания; o – o – 1 % SiO<sub>2</sub> + H, t<sub>3</sub> = 750 °С, t<sub>к</sub> = 20 °С; ● – ● – 1 % SiO<sub>2</sub> + H, t<sub>3</sub> = 880 °С, t<sub>к</sub> = 20 °С; Δ – Δ – 3 % SiO<sub>2</sub> + H, t<sub>3</sub> = 900 °С, t<sub>к</sub> = 20 °С; ▲ – ▲ – 5 % SiO<sub>2</sub> + H, t<sub>3</sub> = 900 °С, t<sub>к</sub> = 20 °С

Рисунок 2 – Влияние обработки расплава с наводороживанием на линейное расширение сплава Al-11% Si

Из полученных данных следует, что оптимальное количество оксида кремния, вводимого в расплав – не более 1 %, причем температура обработ-

ки должна быть не ниже 880 °С.

Таким образом, такие технологические факторы, как обработка шихты и расплава могут оказывать заметное влияние на тепловое расширение силуминов при условии правильного выбора параметров обработки.

УДК 669.715.055

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Al–15% Si**

Попова М.В., Коношенкина Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Обработка расплава изменяет соотношение в нем примесных элементов, которые при кристаллизации будут управлять формированием свойств твердого металла, т.е. с помощью воздействия на расплав существует возможность изменения физико-механических свойств сплавов [1].

Для силуминов, содержащих 15 % Si, следует проводить модифицирование с целью получения удовлетворительных механических свойств, так как в их микроструктуре наблюдаются крупные выделения первичных кристаллов кремния, которые сильно охрупчивают сплав.

Применение наводороживания позволяет получить резкое изменение микроструктуры сплава Al–15% Si. Водород оказывает сильное модифицирующее действие, т.е. в результате наводороживания наблюдается уменьшение размеров выделений кремнистой фазы [2]. Так как наводороживание резко увеличивает число выделений кремнистой фазы, то при дальнейшей кристаллизации расплава увеличение содержания водорода обеспечивает большое количество центров кристаллизации кремнистой фазы [3]. Следовательно, после кристаллизации формируется мелкодисперсная структура, что способствует повышению механических свойств сплавов. Поэтому очень важно, чтобы при кристаллизации не происходил процесс дегазации. Высокое содержание водорода в готовом продукте может быть обеспечено высокой скоростью кристаллизации (не менее 50 °С/с), воздействием внешней среды при кристаллизации (например высокого давления), либо совместным воздействием этих способов.

Важным фактором повышения не только механических, но и физических свойств сплавов является характер распределения водорода при кристаллизации. Известно, что после наводороживания в микроструктуре сплава Al–15%Si зона эвтектической структуры без грубых первичных выделений кремния составляет 2/3 слитка. Образование эвтектической структуры в слитках заэвтектических силуминов существенно повышает их прочность и пластичность [2].

Установлено, что измельчение выделений кремнистой фазы за счет модифицирующего действия водорода способствует снижению коэффициента линейного расширения (КЛР) заэвтектических силуминов в низкотемпературном интервале испытания [1].

В данной работе исследовали влияние условий кристаллизации на коэффициент линейного расширения и механические свойства сплава Al–15%Si.

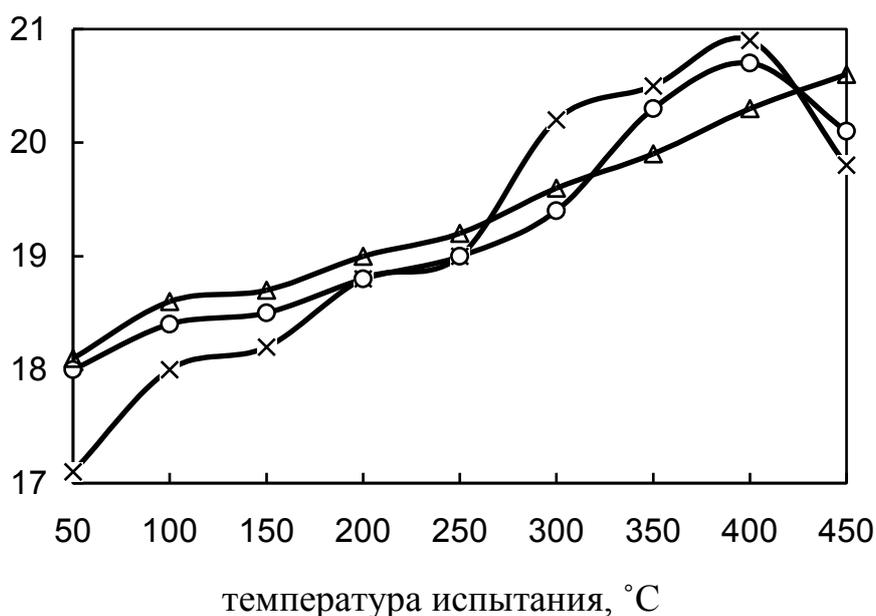
В первой части работы исследовали влияние температуры алюминиевого кокиля при заливке расплава на КЛР сплава Al – 15% Si.

Расплав продували водородом из щелочного разложения алюминия с температуры 900 – 910 °С. Затем заливали в алюминиевый кокиль с разной температурой кокиля: 1) 20 °С; 2) 180 °С; 3) 350 °С.

Температура заливки расплава в алюминиевый кокиль была равна температуре продувки. При кристаллизации по первым двум условиям температура заливки составляла 910 °С, а при кристаллизации с температурой кокиля 350 °С температура заливки была равна 900 °С.

На рисунке 1 показано влияние температуры алюминиевого кокиля на коэффициент линейного расширения наводороженного сплава Al–15% Si.

$\alpha \cdot 10^{-6}$ , град<sup>-1</sup>



x – x –  $t_k = 20$  °С; o – o –  $t_k = 180$  °С; Δ – Δ –  $t_k = 350$  °С

Рисунок 1 – Влияние температуры алюминиевого кокиля при заливке расплава на коэффициент линейного расширения наводороженного сплава Al–15% Si

Судя по данным, представленным на рисунке 1, можно сказать, что с повышением температуры кокиля с 20 до 350 °С коэффициент линейного расширения незначительно возрастает в интервале температур испытания 50 – 250 °С, при температурах 200 – 250 °С КЛР сплава практически не зависит

от температуры кокиля. В температурном интервале испытания 300 – 400 °С коэффициент линейного расширения незначительно снижается.

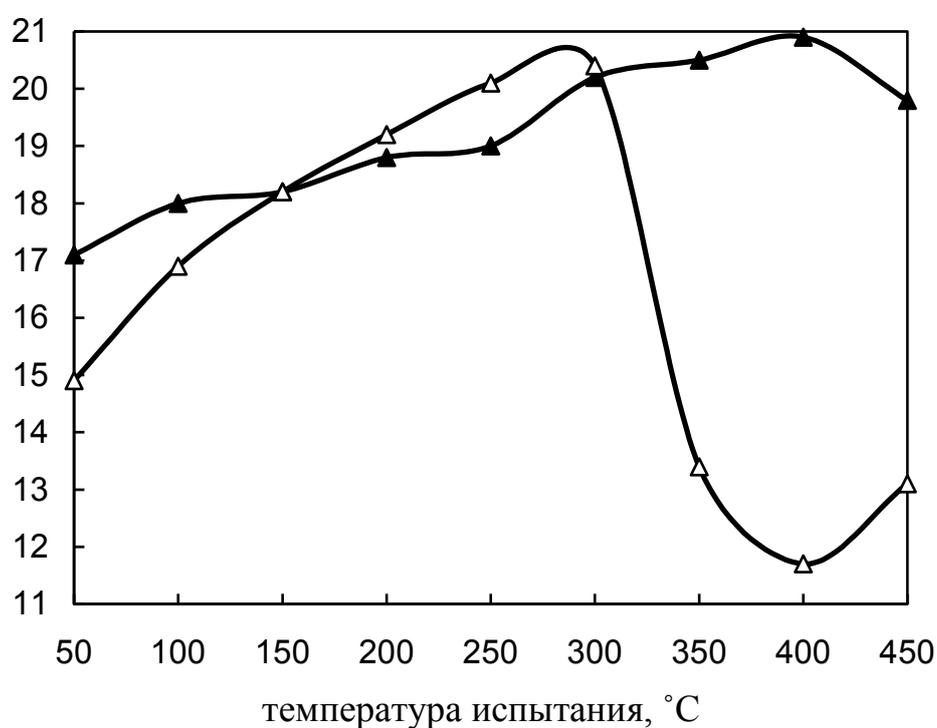
Следовательно, можно сделать вывод, что такой параметр кристаллизации как температура кокиля незначительно влияет на КЛР наводороженного сплава Al–15% Si.

Во второй части работы исследовали влияние материала кокиля на коэффициент линейного расширения и механические свойства сплава Al–15% Si.

Наводороживание проводили тем же способом. Затем заливали сплав: а) в холодный алюминиевый кокиль; б) в медную форму.

Результаты определения КЛР сплавов, закристаллизованных этими двумя способами, показаны на рисунке 2.

$\alpha \cdot 10^{-6}$ , град<sup>-1</sup>



▲ — ▲ — заливка в холодный алюминиевый кокиль;  
△ — △ — заливка в медную форму

Рисунок 2 – Влияние материала кокиля на коэффициент линейного расширения сплава Al–15% Si

Из представленных данных можно заметить, что после заливки в медную форму КЛР возрастает в интервале температур испытания 50 – 250 °С, а затем резко снижается. В высокотемпературном интервале испытания наблюдается аномалия линейного расширения, заключающаяся в резком снижении коэффициента линейного расширения. Наименьшее значение КЛР наблюдается при 400 °С ( $\alpha_{400} = 11,7 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>). В случае кристаллизации в алюминиевый кокиль в высокотемпературном интервале испытания анома-

лия не наблюдается, в интервале температур испытания 200 – 300 °С значения КЛР ниже на 3 %, а в низкотемпературном интервале значения КЛР выше на 38 %, по сравнению с заливкой в медную форму. Более высокая скорость кристаллизации (кристаллизация в медную форму) способствует наибольшему снижению КЛР по сравнению с заливкой в алюминиевый кокиль.

Увеличение скорости кристаллизации способствует получению более дисперсной структуры, что влияет на механические свойства сплава Al–15% Si.

Механические свойства были определены для сплавов с разной степенью наводороживания, обеспечивающей различное соотношение эвтектической составляющей.

Результаты определения механических свойств сплавов Al–15% Si представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние степени наводороживания и скорости кристаллизации (материала кокиля) на механические свойства сплава Al–15% Si

Состав сплава	Условия кристаллизации	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %
Al–15% Si (структура – эвтектика)	Заливка в алюминиевый кокиль	190	13
Al–15% Si (структура – эвтектика + кремнистая фаза)	Заливка в алюминиевый кокиль	160	2,5
	Заливка в медную форму	214	3,1

Видно, что сплав, в структуре которого отсутствуют первичные кристаллы кремния, имеет более высокие механические свойства ( $\sigma_b = 190$  МПа,  $\delta = 13$  %) по сравнению со сплавом, структура которого представляет собой эвтектику с первичными выделениями кремния.

Кристаллизация в медную форму, обеспечивающая получение более дисперсной структуры повышает предел прочности ( $\sigma_b = 214$  МПа) и пластичность ( $\delta = 3,1$  %) сплава Al–15% Si, по сравнению с кристаллизацией в алюминиевый кокиль.

Таким образом можно сделать вывод, что использование предварительного наводороживания совместно с кристаллизацией в металлическую форму обеспечивает благоприятное сочетание физических и механических свойств сплава Al–15%Si.

#### Библиографический список

1. Афанасьев В.К. Легкие сплавы с малым тепловым расширением / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.А. Ружило, В.Ф. Фролов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2000. – 376 с.
2. Чернега Д.Ф. Газы в цветных металлах и сплавах / Д.Ф. Чернега, О.М. Бялик, Д.Ф.Иванчук, Г.А. Ремизов / – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
3. Засыпкин В.А., Семенов А.Е. Поведение растворенных газов при кристаллизации алюминиевых сплавов / Жаропрочные и высокопрочные сплавы: Сборник. – М., 1966. Вып. 4. – С. 229.

## СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВИНТОВЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ

ПАРШИН С.В.

*Уральский государственный технический университет (УПИ)  
г. Екатеринбург*

Современные тенденции использования в производстве экономичных и ресурсосберегающих технологий диктуют необходимость применения прогрессивных видов полуфабрикатов. К ним относятся, в частности, винтовые полые профили, которые могут быть использованы в качестве элементов теплообменников, режущего и бурового инструмента, а также непосредственно в конструкциях в качестве шнеков, валов, роторов, волноводов и с декоративными целями [1]. Одним из возможных вариантов получения этих профилей является скручивание профильной трубы с прямолинейными образующими. Преимуществом такого способа является возможность совмещения процессов получения прямолинейной трубы (например, волочением) и скручивания путем размещения оборудования для скручивания непосредственно за профилирующим оборудованием. Кроме того, в качестве исходной заготовки для скручивания может применяться профиль, имеющий сложное поперечное сечение (например, многогранный, звездообразный и др.).

Вместе с тем, производство таких труб нуждается в теоретическом обосновании процесса, в частности, в определении энергосиловых параметров и параметров надежности готовых изделий [2]. Ситуация осложняется тем, что очаг деформации при кручении трубы, имеющей сложный профиль, имеет объемный вид и не может быть сведен к плоской постановке, что делает затруднительным его решение аналитическими методами. Выходом является конечно – элементное моделирование очага деформации в FEA-пакетах [3], однако сложность геометрии очага деформации сказывается и в этом случае, приводя к значительной протяженности времени решения (до 1 – 2 сут.) отдельного расчетного случая на современной вычислительной технике (в случае объемной постановки). В то же время, в большей части случаев объектом расчетов являются трубы, имеющие постоянную по периметру поперечного сечения толщину стенки и многолучевой профиль. Таким образом, задача может быть сведена к оболочке постоянной толщины (элементы типа shell), и к рассмотрению характерного участка периметра профиля (половины луча). Такая постановка задачи (при небольших, до 45 град, углах подъема закрученного профиля) вызывает незначительное снижение точности решения, однако время решения снижается на порядок, составляя для задач сложной геометрии 1 – 2 ч.

С использованием вышеописанного типа модели проведено моделирование процесса кручения труб (рисунок 1) с шести- и восьмилучевым

профилем различных конфигураций из основных конструкционных материалов – стали 20, стали 12Х18Н 1 ОТ, латуни Л-63, титана ВТ 1-0.

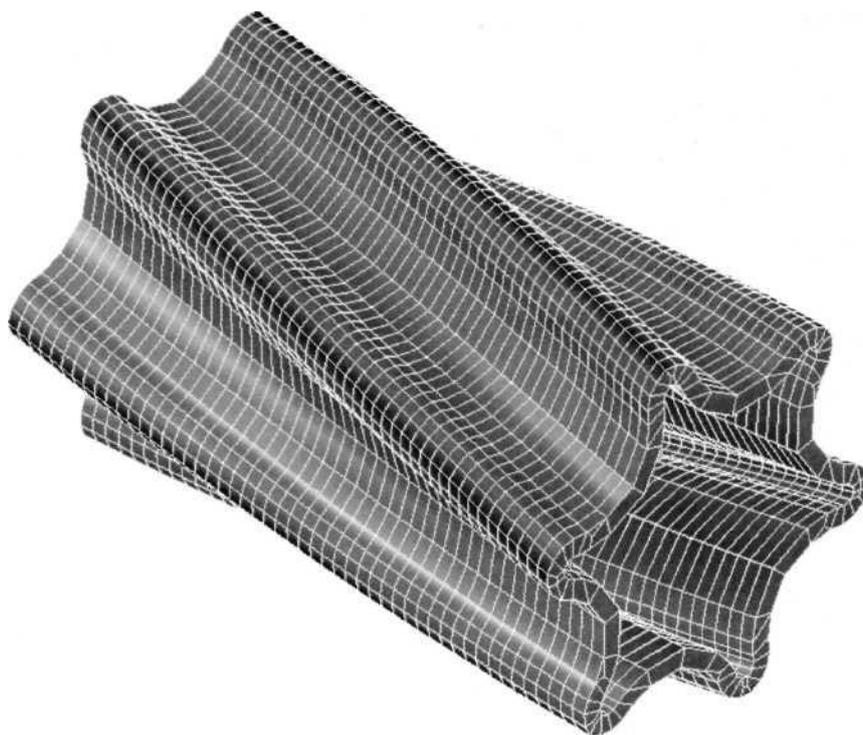


Рисунок 1 – Внешний вид формоизменения при моделировании пластического кручения на конечно – элементной модели

Определялись основные энергосиловые параметры процесса, в частности момент кручения при различных исследуемых материалах, видах профиля и углах закручивания, а также параметры очага деформации (интенсивность деформаций, величины главных напряжений и др.) в характерных точках исследуемого профиля. С целью определения наличия опасных по разрушению точек на внутренней и наружной поверхностях профиля, ряд задач был решен в объемной постановке. Определяли степень использования ресурса пластичности материала в указанных точках.

Моделирование стало основой для создания новой прогрессивной конструкции для профилирования труб. Задачей являлось создание конструкции, обеспечивающей постоянство угла закручивания трубы как на конкретном ее отрезке, так и в партии труб, имеющей возможность профилирования труб большой протяженности, обеспечивающей простоту настройки на требуемый угол закручивания профиля, позволяющей регулировать угол закручивания в процессе профилирования и получать трубы с переменным углом закручивания (вплоть до знакопеременно изменяющегося).

Создана новая конструкция устройства для производства профильных труб, содержащего корпус, два держателя с профильными кольцами, установленные последовательно вдоль оси трубы, один из которых выполнен

подвижным с возможностью поворота вокруг своей оси при помощи поворотного средства.

Новым является то, что второй держатель выполнен неподвижным, упомянутое поворотное средство подвижного держателя выполнено с возможностью перемещения вдоль оси трубы и поворота относительно нее в виде установленных в корпусе двух кольцевых гидроцилиндров с поршнями, подвижный держатель выполнен в виде перемычки с кольцевой расточкой, соединяющей штоки поршней кольцевых гидроцилиндров, и имеет радиальные выступы, а корпус выполнен с направляющими копирами для перемещения в них упомянутых радиальных выступов подвижного держателя. Новизна конструкции подтверждается решением о выдаче патента на изобретение [4].

Приведенное техническое решение позволяет получать трубы, имеющие широкий диапазон углов закручивания трубного профиля, имеющие правое и левое закручивания линии профиля, а также изменяющийся по длине трубы угол и направление профиля. Кроме того, возможна автоматизация установки, позволяющая добиться как повышения производительности труда, так и улучшения качества продукции. Также возможно профилирование труб большой длины и труб непосредственно из бухт.

Устройство для получения профильных труб показано на рисунке 2. Устройство для получения профильных труб содержит корпус, состоящий из двух половин 1 и 2, имеющий разъем, перпендикулярный продольной оси устройства. Эти половины корпуса стянуты шпильками 3 и гайками 4 посредством упорных колец 5. Внутри расточки левой половины корпуса установлен держатель 6, внутри которого помещено профильное кольцо 7, закрепленное гайкой 8. Держатель 6 закреплен в корпусе 1 винтами 9. Левая 1 и правая 2 половины корпуса имеют кольцевые расточки 10 и 11, которые являются кольцевыми гидравлическими цилиндрами. В эти гидравлические цилиндры помещены кольцевые поршни 12 и 13 со штоками 14 и 15, соединенные между собой перемычкой 16 с кольцевой расточкой, являющейся держателем для второго профильного кольца 17, закрепленного гайкой 18.

В корпусе устройства прорезаны окна, в которые на болтах установлены сменные копиры 20, имеющие специальную профилировку паза. Перемычка 16 штоков гидроцилиндров содержит выступы 21, взаимодействующие с угловыми (по отношению к оси устройства) копирами 20. Устройство рассмотренной конструкции закрепляют на волокодержателе волочительного стана, который должен быть снабжен тянущей кареткой с захватами, допускающими вращение протягиваемой профильной трубы.

Поскольку выступы 21 перемещаются по угловым копирам из одного положения в другое, то происходит угловое закручивание профильного кольца 17, а вместе с ним и винтовое закручивание протягиваемой трубы. При подаче давления рабочей жидкости в цилиндр 10 выступ вместе с профильным кольцом поворачивается в положение. Таким образом, возможно получение профильных винтовых труб как правого, так и левого направле-

ния винтовой линии. Более того, рассмотренное устройство позволяет при попеременной подаче жидкостей в цилиндры 10 или 11 иметь на одной трубе винтовые линии правого и левого направлений. Трубы с таким профилированием также находят применение в теплообменных аппаратах.

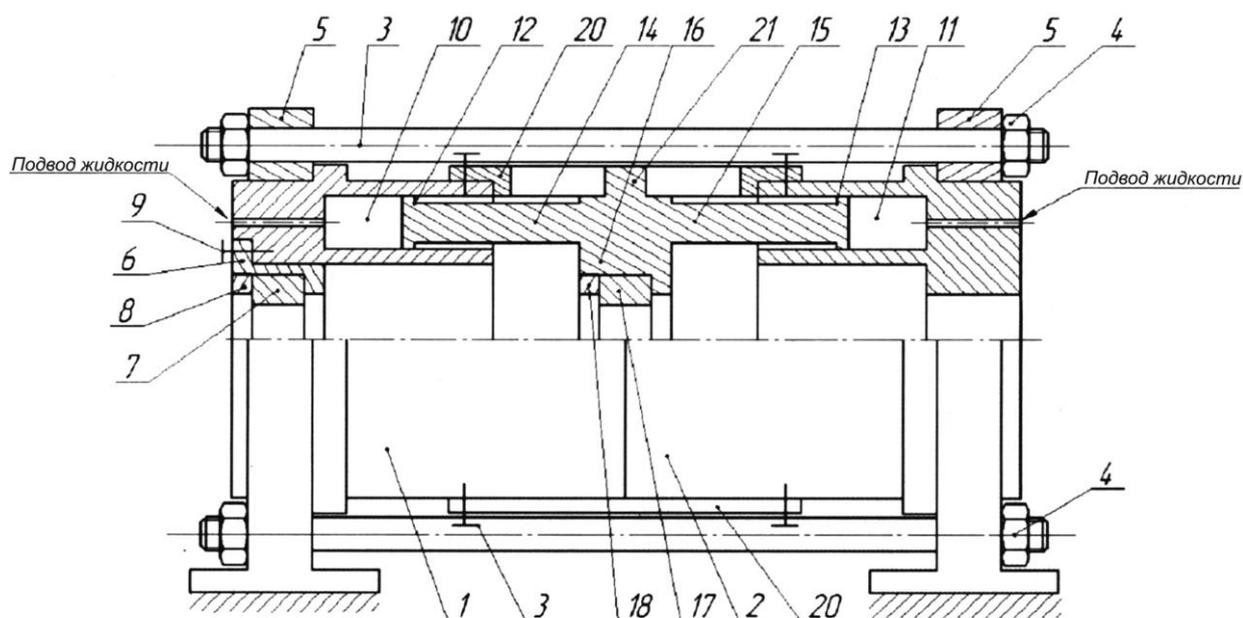


Рисунок 2 – Устройство для производства профильных труб

В том случае, когда выступ 21 находится в среднем положении, то возможно получение труб, не имеющих винтового профилирования, что позволяет получать на трубах гладкие непрофилированные участки, являющиеся необходимым условием для установки полученных труб в трубную доску теплообменника.

#### Библиографический список

1. Каргин В.Р. Процессы получения винтовых профилей и труб. М.: Металлургия, 1994. – 96 с.
2. Паршин СВ. Процессы и машины для изготовления профильных труб. Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, Екатеринбург, 2006. – 356 с.
3. Паршин С.В., Огородникова О.М. Моделирование технологических процессов в САЕ-пакете ANSYS 7 / САПР и графика. – 2003. – № 2. С. 58 – 59.
4. Паршин СВ. Устройство для производства профильных труб. Решение о выдаче патента на изобретение № 2007113265/02 (014407) от 10 июля 2008 г.

## **БАЗА ДАННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА И ОБОБЩЕННЫЙ ОЧАГ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ ТРУБ**

ПАРШИН С.В.

*Уральский государственный технический университет (УПИ)  
г. Екатеринбург*

Профильными трубами называют полые изделия, имеющие некруглое поперечное сечение, которое может изменяться по длине трубы. Такие трубы составляют широкий класс изделий, не включающий только трубы с прямой продольной осью и постоянным по длине круглым сечением. Широта применения профильных труб обусловлена их специфическими свойствами, которые, в отличие от круглых, могут предоставлять потребителю целый ряд преимуществ. Так, например, применение профильных труб при создании несущих конструкций, рам, силовых каркасов позволяет снизить их вес при сохранении прочности или жесткости конструкции, либо повысить эти характеристики при неизменном весе. Существуют области, где профильная форма труб используется непосредственно для повышения эффективности технологического процесса [1].

Патентный и литературный обзор в области технологий и машин для производства профильных труб выявляет многообразие видов применяемого оборудования, а также значительное число способов производства профильных труб, включающих производство с применением профилирующего инструмента самых разнообразных конструкций. Для большинства рассматриваемых конструкций, однако, можно выделить общую особенность – очаг деформации в зоне основного профилирования не может быть сведен (без потери точности) к плоской постановке, а должен рассматриваться в виде объемной модели, зачастую сложной конфигурации. Такая особенность приводит к появлению множества несвязанных моделей процессов, отличающихся зачастую лишь размерами применяемого инструмента, степенью его воздействия, но имеющих одинаковую конфигурацию. Подобное положение дел связано с отсутствием классификации процессов профилирования с точки зрения из моделирования.

Основными задачами такой классификации должно стать определение наиболее характерных признаков, присущих процессам профилирования труб. Так, для большинства процессов характерно воздействие инструмента на трубу с наружной или внутренней стороны, наличие или отсутствие перемещения инструмента, и др. Конечной целью классификации является создание базы данных [2], каждая запись которого однозначно определяла бы конкретный процесс профилирования (рисунок 1).

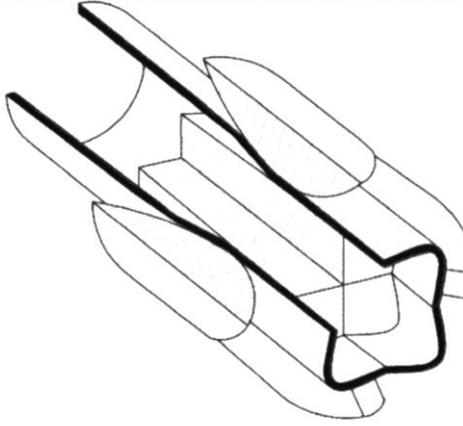
1. ПОЛУЧЕНИЕ ТРУБ - СТАТОРОВ ГИДРОДВИГАТЕЛЕЙ			
1. Оправка – наличие	<input checked="" type="checkbox"/>	2. Ролики – наличие	<input checked="" type="checkbox"/>
Профиль оправки	<input checked="" type="checkbox"/>	Количество роликов	4
Подвижность оправки	<input type="checkbox"/>	Профиль роликов	<input checked="" type="checkbox"/>
Вращение оправки	<input type="checkbox"/>	Угол поворота роликов	5-15°
Поступательн. движение оправки	<input type="checkbox"/>	Наличие привода роликов	<input checked="" type="checkbox"/>
Наличие привода оправки	<input type="checkbox"/>		
3. Приложение усилия к трубе	<input type="checkbox"/>	5. Схема процесса	
К переднему сечению трубы – протягивание	<input type="checkbox"/>		
К заднему сечению трубы – проталкивание	<input type="checkbox"/>		
Протягивание с подпором	<input type="checkbox"/>		
Протягивание с противонапряжением	<input type="checkbox"/>		
Проталкивание с противодавлением	<input type="checkbox"/>		
4. Волока - наличие	<input type="checkbox"/>		
Многoproходное волочение	<input type="checkbox"/>		

Рисунок 1 – Пример записи базы данных

Поскольку вновь создаваемые записи базы данных интересуют исследователя прежде всего, с точки зрения моделирования процесса, то интересующими аспектами являются:

- 1) Наличие внутреннего воздействия на трубу – оправки той или иной конструкции, а также ее конфигурация и движение (или его отсутствие).
- 2) Наличие роликов, воздействующих на трубу, что требует моделирования вращения роликов и качения их по трубе.
- 3) Приложение рабочих усилий непосредственно к трубе.
- 4) Наличие инструмента с трением скольжения – волоки

Для справки в записи базы данных приводится также схема процесса в виде рисунка.

Одним из способов реализации записей базы данных в экспериментаторской практике является твердотельное и последующее конечно элементное моделирование процесса [3]. В этом случае порядок действия следующий.

С помощью одного из стандартных пакетов твердотельного моделирования открывают созданную обобщенную модель очага деформации при профилировании труб. Обобщенная модель содержит все присутствующие в

базе данных элементы очагов деформаций для всех имеющихся записей, представленные в непараметризованной форме. На практике элементы представляют собой детали, а обобщенная модель – сборку из этих деталей, выполненную с использованием реально имеющихся привязок или ограничений, например соосности оправки и трубы и др.

Следующим шагом является параметризация очага первого уровня, заключающаяся в указании элементов, участвующих в профилировании. Для этого используется запись базы данных, соответствующая конкретному процессу, для которого проводится профилирование. На практике при этом производится исключение элементов (деталей) не участвующих в процессе. Результатом становится модель, содержащая то же количество основных элементов, которые расположены тем же образом, что и в реальном процессе.

Наконец, выполняется параметризация очага деформации второго уровня. При этом производится задание реальных, в натуральном масштабе, размеров деталей. Взаимное расположение деталей сохраняется неизменным, что достигается закреплением деталей в рамках единой сборки.

Одним из преимуществ такого задания геометрии является легкость проведения эксперимента, связанного с широким варьированием размерами элементов очага деформации (например, диаметром трубы, профилировкой волокна и др.)

Конечным этапом вышеприведенного процесса является передача сборки путем экспорта – импорта в связанный пакет конечно – элементного анализа. Здесь с использованием параметров из конкретной записи базы данных производится указание точек приложения, направления, знака и величины действующих нагрузок. При этом возможно задание нагрузок как указанием перемещений, так и усилий (сил, давлений). На данном этапе также сохраняется возможность варьирования указанными нагрузками, что позволяет производить моделирование во всем диапазоне технологических возможностей конкретного оборудования.

Основными преимуществами указанного подхода является возможность оптимизации процесса по одному либо нескольким переменным путем подбора геометрических, энергосиловых и прочих параметров. Кроме того, на этой основе возможна модернизация имеющихся и создание новых технологий профилирования и оборудования для его осуществления.

На основе вышеописанной базы данных проведено моделирование процессов получения труб статоров и роторов гидродвигателей, многолучевых труб – перекрывателей нефтяных и газовых скважин (в том числе смоделирован процесс раздачи перекрывателя в скважине). Также смоделированы процессы получения труб теплотехнического назначения, профилирования конструкционных труб прокаткой, волочением (в том числе с оправкой). Исследовались процессы профилирования многолучевых труб волочением с оптимизацией профиля получаемой трубы.

В качестве примера рассмотрим процесс создания модели волочения шестигранной трубы из круглой заготовки. Целью моделирования являлась

оптимизация формы волочильного канала [4].

Поиск рациональной геометрии волочильного канала при профилировании труб выполнили из нескольких условий:

1) Отыскание параметров, при которых распределение контактных давлений в очаге деформации будет более равномерным.

2) Распределение интенсивности пластических деформаций по сечению изделия желательно иметь более равномерным, что определяет служебные свойства полученных труб.

3) Определение условий, при которых удельная работа пластической деформации более равномерно распределена по объему деформируемого металла. Отметим, что работа пластической деформации в значительной степени определяет износ инструмента, а следовательно и его стойкость.

4) Минимизация технологического усилия, обеспечивающего процесс деформации.

На основе моделирования сделаны следующие выводы:

1) В зоне перехода из профилирующей в калибрующую зону возникают значительные контактные давления.

2) Конфигурация профиля перехода из профилирующей в калибрующую зону оказывает большое влияние, как на энергосиловые параметры процесса, так и на параметры напряженно деформированного состояния в очаге деформации.

Дальнейшее исследование модели путем выявления поведения величин удельного давления и интенсивности пластических деформаций в материале трубы в зависимости от определяющих геометрию канала размеров волокна позволило выявить ряд закономерностей, среди которых можно назвать значительное снижение величины среднего удельного давления по поверхности контакта, а также сглаживание пиков среднего удельного давления в зоне выхода металла из конусной части волокна для случая применения волокон с оптимизированной геометрией канала.

#### Библиографический список

1. Паршин С.В. Процессы и машины для изготовления профильных труб. Изд-во ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», Екатеринбург, 2006. – 356 с.
2. Гончаров А.Ю. Access 2007. М: Кудиц-Пресс, 2008. – 296 с.
3. Паршин С.В., Семенова Н.В. Конечно-элементное моделирование процесса пластической деформации при профилировании труб. Вестник УГТУ-УПИ № 11 (63). Компьютерный инженерный анализ. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2005. – С. 84 – 85.
4. Паршин СВ. Определение рациональной формы волочильного канала для изготовления многогранных труб. М.: Производство проката, № 9, 2007. – С. 24 – 27.

## **БЕСЦЕМЕНТНОЕ ВЯЖУЩЕЕ ИЗ СТАЛЕЛИТЕЙНЫХ ШЛАКОВ И ЗАКЛАДОЧНАЯ СМЕСЬ НА ЕГО ОСНОВЕ**

КОРНЕЕВА Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Металлургия является одним из «поставщиков» техногенного сырья. Отходы металлургических гигантов Кузбасса сталелитейных шлаков марте-новского и конверторного производства представляют большую экологиче-скую опасность. На породных отвалах предприятий данной инфраструктуры их сосредоточено уже более 40 млн. т: 14,4 млн. т на ООО «Сталь НК» и 28 млн. т на ОАО «ЗСМК» [1].

Особенность этих отходов в том, что они уже прошли высокотемпера-турную обработку, не содержат органических примесей, и кристаллические структуры в них сформированы. Основными причинами не использования сталелитейных шлаков являются: наличие в шлаках от 13 до 18 % чистого железа и до 22 % оксидного; подверженность силикатному и железистому распаду; весьма низкой активности из-за пережога извести и восстановления известняка ( $\text{CaCO}_3$ ) в отвалах при длительном хранении (свыше 70 лет) [2].

Научно-исследовательская работа по разработке нового состава и тех-нологии закладочной смеси для выработанных пространств шахт и рудников с использованием текущих сталелитейных (конверторных) шлаков объеди-няет экономические проблемы – создание дешёвой закладочной смеси и эко-логические – обеспечение равновесия окружающей среды. Она соответству-ет Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Рос-сийской Федерации «Рациональное природопользование» (Пр-843) и Переч-ню критических технологий Российской Федерации «Технологии переработ-ки и утилизации техногенных образований и отходов» (Пр-842), утверждён-ных Президентом В.В. Путиным 21 мая 2006 г.

В разработанном составе закладочной смеси предлагается использо-вать промышленные отходы – конверторные шлаки текущего выхода ОАО «ЗСМК» и горелые породы терриконика шахты «Абашевская». В качестве активизатора использовать шлам – нейтрализованные электролиты отрабо-танных кислотных тяговых и стартерных аккумуляторов предприятий горно-металлургического комплекса и автопредприятий.

По результатам химического анализа конверторных шлаков текущего выхода ОАО «ЗСМК» установлено преимущественное наличие в них окси-дов: кальция, железа, ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ ), кремния, магния, алюминия, марганца и незначительное количество свободного оксида кальция ( $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ ), который является резервом для повышения активности шлакового вяжущего.

Рентгеноструктурный анализ исследуемых шлаков показал наличие

монтichelлита ( $\text{CaMg}[\text{SiO}_4]$ ), и геленита ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ), периклаза ( $\text{MgO}$ ), небольшую примесь шпинели ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), кварца ( $\text{SiO}_2$ ) и нерасшифрованные примеси. Минералы почти полностью закристаллизованы, имеют большую плотность упаковки, упорядоченное строение.

Горелые породы шахтных отвалов по содержанию доломитов, известняков и глинистых примесей схожи с золой и микрокремнеземом, что позволяет применение их в качестве добавки в состав вяжущего. Исследуемые конверторные шлаки текущего выхода относятся к группе «низкоосновных» материалов (коэффициент основности шлака менее 1)  $K_{\text{осн.}} = 0,74 \div 0,82$ ; горелые породы содержат повышенное количество  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и относятся к группе «ультракислых»  $K_{\text{осн.}} = 0,1$ .

Наличие в вещественном составе горелых пород активных разновидностей железа, алюминия и кремния, возникающих вследствие нарушения молекулярных связей глинистых минералов при обезвоживании и диспергации частиц в процессе самообжига, обуславливает их высокую гидравлическую активность.

Для создания реакционно-способных минералов при разработке вяжущей композиции на основе молотого сталелитейного шлака текущего выхода также необходима добавка – активизатор, для активации поверхности шлака и горелой породы.

Влияние сульфатных добавок-активизаторов на прочность шлакового вяжущего, рассмотрены в работе [3]: при исследовании вяжущих свойств сталелитейных (мартеновских) шлаков Магнитогорского металлургического комбината. Было установлено, что при обработке шлака растворами кислот, помимо стабилизации структуры шлака к распаду, образуются гидросиликаты кальция, в результате чего наблюдается рост прочности системы. По результатам исследований сделано заключение: возможность использования молотого конверторного шлака в качестве вяжущего может быть обеспечена применением добавок. Добавки для данной цели должны обладать следующими свойствами:

– при затворении шлака водным раствором добавки, она должна, возможно, полнее связывать свободный оксид кальция;

– продукты, полученные в результате химического взаимодействия оксида кальция с добавкой, должны образовывать кристаллический каркас;

Таким требованиям отвечают легкорастворимые соли некоторых амфотерных металлов с сильными кислотами. К ним относятся соли  $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Fe}$  и др. При выборе добавки в качестве активизаторов использовались  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$  ТУ 6-09-2247-77,  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  ГОСТ 4148-78 и нейтрализованный травильный раствор Магнитогорского калибровочного завода.

Изучив результаты исследований влияния сульфатных добавок-активизаторов на мартеновские шлаки Магнитогорского металлургического комбината, проведен анализ отходов промышленных производств горно - металлургической инфраструктуры Кузбасса для поиска возможных компонентов альтернативного сульфатного активизатора для разрабатываемого

вяжущего. В качестве техногенного сырья с аналогичными свойствами, сульфатного возбuditеля твердения выбран нейтрализованный (для утилизации) отработанный электролит тяговых и стартерных кислотных аккумуляторов, так называемый шлам, представляющий собой обводненный гель, обладающий высокой пластичностью. Полученный в результате нейтрализации известью шлам, имеет в своем составе легкорастворимую соль амфотерного металла – свинца с серной кислотой, чем объясняется наличие в нём сульфата этого металла.

Соотношение шлака и горелых пород определялось по расчёту (соотношению коэффициентов основности). Объем шлака, требуемый в качестве добавки, подбирался экспериментально (из условий наибольшей прочности).

Для определения основных характеристик разработанного бесцементного шлакового вяжущего на основе сталелитейного (конверторного) шлака текущего выхода ОАО «ЗСМК» с добавкой горелых пород шахтного отвала и активизатора-затворителя (нейтрализованного отработанного электролита кислотных аккумуляторов из резервуара-накопителя отделения нейтрализации предприятия) – отходов ОАО шахты «Абашевская» ОУК «Южкузбассуголь», в Испытательном центре «Строительные материалы и конструкции» «Кузбасс» (ООО ИЦ СММК «Кузбасс») Органа сертификации строительной продукции (ОС «Кузбасстройсертификация») было проведено опытное формование образцов 4×4×16 см. Образцы выдерживались в естественных условиях при температуре  $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $(95 \pm 5) \%$ , ГОСТ 310.4-81\*. Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 310.2, ГОСТ 310.3, ГОСТ 310.4.

Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика шлакового вяжущего

Характеристики	Ед. изм.	Свойства, результаты испытаний
Марка	кг/см <sup>2</sup>	75
Состав вяжущего: Сталелитейный (конверторный) шлак текущего выхода	%	85
Горелые породы шахтных отвалов	%	5
Шлам	%	7
Тонкость помола (проход через сито с сеткой № 008 по ГОСТ 6613)	%	45
Водошламовое отношение	-	0,4
Распływ конуса	см	14,4
Насыпная плотность в рыхлом состоянии	кг/м <sup>3</sup>	1460
Насыпная плотность в уплотненном состоянии	кг/м <sup>3</sup>	1610
Начало схватывания	час	2

Продолжение таблицы 1

Характеристики	Ед. изм.	Свойства, результаты испытаний
Конец схватывания	час	45
Равномерность изменения объёма: кипячением лепёшек в воде	-	Выдерживает (трещины, искривления отсутствуют)
Прочность при естественном твердении 7 суток: – при растяжении на изгиб – при сжатии	МПа МПа	3,98 5,68
Прочность при естественном твердении 28 суток: – при растяжении на изгиб – при сжатии	МПа МПа	4,83 7,88

Коэффициент размягчения колеблется от 0,85 до 1; что свидетельствует о том, что полученное шлаковое вяжущее можно отнести к водостойким (коэффициент размягчения  $\geq 0,8$ ). Следовательно, материалы, приготовленные на его основе можно применять в сырых местах без специальных мер по защите их от увлажнения.

По результатам рентгеноструктурного анализа полученного вяжущего в возрасте 28 суток (рисунок 1), определены основные минералы: гипс и монтичеллит. В небольшом количестве содержатся этtringит и кварц.

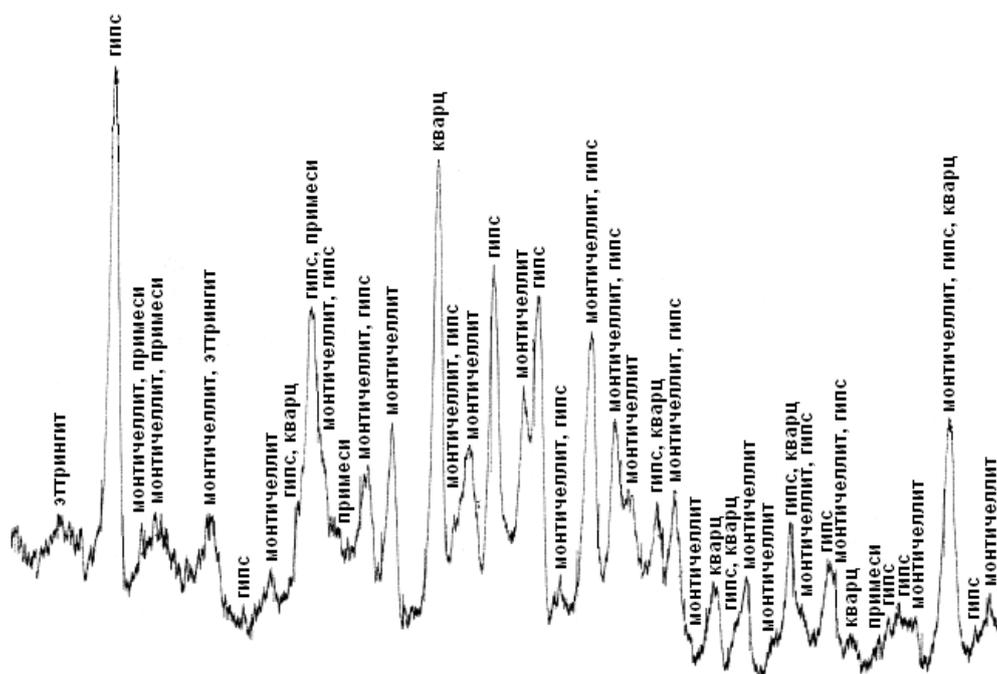


Рисунок 1 – Дифрактограмма разработанного бесцементного вяжущего

Структура разработанного бесцементного шлакового вяжущего (при увеличении  $3000^{\times}$ ) под электронным микроскопом представлена на рисунке 2. Отчётливо видны скопления столбчатых кристаллов гидросульфоалюмината кальция (этtringита) ориентированных хаотически. Длина кристаллов 5 – 15 мкм, толщина 0,2 – 0,5 мкм.



Рисунок 2 – Структура разработанного бесцементного вяжущего

Достоинства полученной вяжущей композиции в том, что она составлена исключительно на основе техногенных отходов, без специального обжига и тепловой обработки исходных компонентов, и может быть использована для закладки выработанных пространств шахт и рудников в составе литой закладочной смеси.

Расчётный экономический эффект от производства нового типа закладочной смеси на основе сталелитейных (конверторных) шлаков текущего выхода ОАО «ЗСМК» позволяет получить дополнительный экономический эффект до 21,59 млн. руб. в год.

Внедрение нового разработанного состава закладочной смеси расширит область применения закладки как при добыче наиболее ценных полезных ископаемых, так и при расконсервации запасов угля в охранных целиках под охраняемые объекты. Таких запасов только в Прокопьевско – Киселевском районе Кузбасса на действующих горизонтах шахт около 290 млн. т. Эти запасы можно отработать только с закладкой литыми твердеющими смесями.

#### Библиографический список

1. Официальный сайт Администрации Кемеровской области.
2. Корнеева Е.В., Павленко С.И. Бесцементное вяжущее из техногенных отходов для закладочных смесей. //М: Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Сухие строительные смеси. № 2. – 2008. – С. 54 – 55.
3. Воронин К.М. Стабилизация структуры и свойств мартеновского шлака для повышения эффективности его использования в строительстве./ К.М. Воронин – Дис. канд. техн. наук. – Магнитогорск, – 1997. – 130 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ОДНО- И ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ\***

ВОСТРЕЦОВА А.В., КАРПИЙ С.В., БУДОВСКИХ Е.А., ГРОМОВ В.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Воздействие на поверхность металлов и сплавов концентрированных потоков энергии позволяет упрочнить и защитить их от неблагоприятных воздействий окружающей среды. Для этого применяют лазерное излучение, электронные и ионные пучки, плазменные потоки и струи. Обладая рядом технологических и экономических преимуществ по сравнению с традиционными, эти способы термической и химико-термической обработки перспективны для практического использования. Одним из них является электровзрывное легирование (ЭВЛ), суть которого состоит в импульсном оплавлении и насыщении поверхностных слоев продуктами электрического взрыва проводников с последующей самозакалкой\*\*. Настоящая работа посвящена анализу измерения микротвёрдости углеродистой стали 45 в отожженном состоянии с феррит-перлитной структурой при различных видах одно- и двухкомпонентного ЭВЛ.

Для обработки использовали лабораторную электровзрывную установку, позволяющую сформировать импульсные многофазные плазменные струи, служащие инструментом воздействия на поверхность. Длительность импульса воздействия составляла 100 мкс, интенсивность теплового воздействия на поверхность на оси струи –  $4,5 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. Воздействие на поверхность при таком способе легирования сопровождается формированием у облучаемой поверхности ударно-сжатого слоя, давление в котором составляло 11,2 МПа. При выборе видов ЭВЛ исходили из результатов традиционной химико-термической обработки. Известно, например, что алитирование и бороалитирование сталей позволяет повысить их твердость, износ- и жаростойкость. Поэтому в качестве взрывааемых проводников были использованы алюминиевые фольги. Двухкомпонентное бороалитирование и алитирование совместно с карбидом кремния осуществляли, помещая в область взрыва навески порошка аморфного бора и ультрадисперсного (со средним размером

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке грантами РФФИ №№ 07-08-92100-ГФЕН-а, 08-02-00024-а, 08-02-12012-офи.

\*\* Закономерности электровзрывного легирования металлов и сплавов / Е.А. Будовских, А.Я. Багаутдинов, А.В. Вострецова, В.Е. Громов // Известия вузов. Физика. – 2008. – № т5. – С. 71 – 83.

частиц 60 нм) карбида кремния соответственно. Эффективность упрочнения поверхности оценивали по результатам измерения распределения по глубине микротвердости, являющейся одним из наиболее точных и чувствительных методов анализа физико-механических свойств материалов. Измерения проводили на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н с точностью 7 %.

Исследования модифицированных слоев методом световой микроскопии показало, что на поверхности обработки формируется несплошное покрытие, образованное конденсированными частицами продуктов разрушения алюминиевых фольг, а случае двухкомпонентного легирования – продуктами их взаимодействия с частицами порошков. Вследствие неоднородности давления на поверхность со стороны ударно-сжатого слоя на поверхности после алитирования наблюдались хорошо различимые следы радиального течения от центра зоны легирования к периферии. В случае же двухкомпонентного легирования радиальное течение заметно подавлялось. Эту особенность строения поверхности зоны легирования можно связать с тем, что при двухкомпонентном легировании повышалась плотность и давление плазмы на срезе сопла и, соответственно, увеличивался радиус струи, истекающей в технологическую камеру, в которой располагался образец. В этом случае уменьшался градиент давления, оказываемого на поверхность со стороны ударно-сжатого слоя. Это и приводило к подавлению радиального течения расплава.

Сопоставление результатов одно- и двухкомпонентного легирования показало, что толщина зоны легирования в центральной области под соплом плазменного ускорителя составляла 15 – 17 мкм, а при двухкомпонентном легировании была на 3 – 5 мкм больше (рисунок 1). Насыщение поверхностных слоев продуктами взрыва происходило вплоть до границы оплавления с зоной термического влияния под действием конвективных процессов тепло-массопереноса. Ниже зоны алитирования выявлялась зона термического влияния (зона осветленного перлита), толщина которой достигала 7 – 8 мкм. После двухкомпонентного легирования ее толщина была больше, чем после алитирования. Это свидетельствует о влиянии порошковой навески на тепловое воздействие струи на поверхность.

Микротвердость зоны алитирования с глубиной падала от 824 на поверхности до 200 HV в основе. Это связано с тем, что по мере удаления от поверхности степень насыщения расплава продуктами взрыва уменьшалась. После бороалитирования микротвёрдость на поверхности образцов повышалась до 1410 HV. Электровзрывное алитирование с наноразмерным карбидом кремния приводило к увеличению микротвёрдости на поверхности до 1135 HV. Сопоставляя результаты измерения микротвёрдости углеродистой стали при различных видах одно- и двухкомпонентного электровзрывного легирования можно отметить, что при однокомпонентном алитировании она возрастает до 4 раз, а двухкомпонентное легирование позволяет увеличить её до 6 – 7 раз по сравнению с основой.

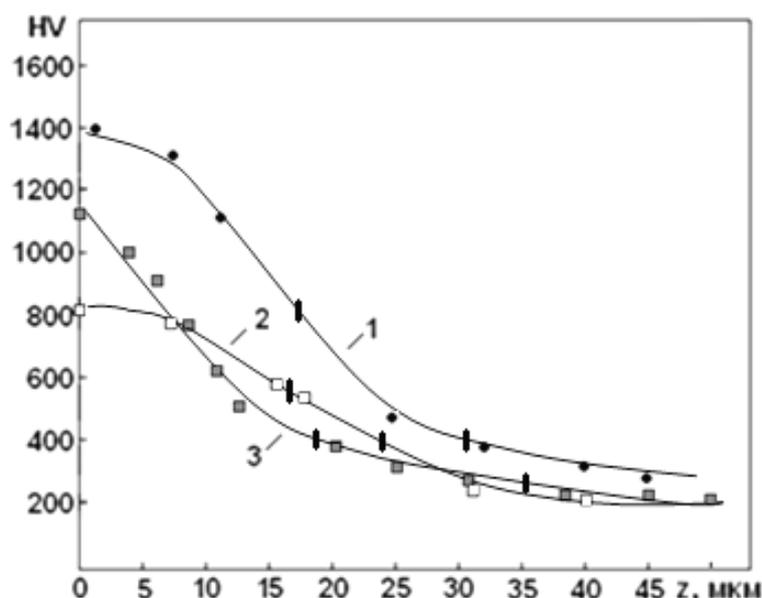


Рисунок 1 – Распределение микротвёрдости по глубине модифицированных слоёв после бороалитирования (1), алитирования (2) и алитирования с карбидом кремния (3). Пороги на зависимостях показывают границу зоны легирования (слева), и границу зоны термического влияния (справа)

УДК 633

## ОБ ОРГАНИЗАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ КАДРОВОЙ СЛУЖБЫ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АУТСОРСИНГА

Кулаков С.М., Югов А.А., Гурина О.В., Бондарь Н.Ф.

*Сибирский Государственный индустриальный университет,  
ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,  
НОУ РЦПП «Евраз-Сибирь»  
г. Новокузнецк*

Необходимая составляющая деятельности любого промышленного предприятия - это затраты не только на основной бизнес, но и на управление непрофильными активами. Непрофильные функции не приносят прибыли, но жизненно необходимы для нормальной работы любого предприятия. И чем оно крупнее, тем значительнее затраты, штат сотрудников, а также нагрузки на управленческий персонал, связанные с неосновной деятельностью. В последние годы все большее число предприятий предпочитает снять с себя груз этих проблем, выводя непрофильные сферы своей деятельности на аутсорсинг. В связи с этим представляется актуальным рассмотреть существующие системы аутсорсинга и определить оптимальную для кадровой службы крупного промышленного предприятия.

Аутсорсингом (от англ. outsourcing) называют передачу неосновных функций предприятия и всех связанных с ними активов в управление профессиональному подрядчику, или аутсорсеру [2]. Смысл перехода на аутсорсинг заключается в том, что услуги подрядчика обходятся предприятию дешевле, чем самостоятельное управление непрофильной деятельностью, а качество услуг при этом повышается.

В настоящее время можно выделить три основные причины аутсорсинга:

– *Желание сосредоточиться на основных видах деятельности.* Это означает прекращение развития в организации определенных компетентностей, не являющихся ключевыми для реализации выбранных стратегий, а также для создания и удержания организацией конкурентных преимуществ.

– *Необходимость повышения качества обслуживания.* Затраты на качество начинают превышать добавляемую конечным товарам и услугам ценность, за которую мог бы заплатить потребитель. При этом идет поиск внешних поставщиков, выполняющих аналогичную работу за меньшую стоимость либо за ту же стоимость, но при более высоком качестве.

– *Потребность в снижении затрат.* Организация стремится избавиться от излишних затрат – ищет более эффективных поставщиков, которые смогут обеспечить высокое качество при приемлемых ценах.

Кадровый аутсорсинг считается сопряженным с меньшими рисками, нежели аутсорсинг иных критически важных функций. Можно выделить ряд причин, когда необходимо использовать кадровый аутсорсинг:

– использование методов работы с персоналом, не соответствующих современным требованиям рынка;

– изменение ситуации на рынке, смена руководства, падение прибыли, реорганизация компании;

– несоответствие системы управления персоналом стратегии компании;

– отсталость темпов роста обслуживающих подразделений от темпов роста основного бизнеса;

– экономия (выгоднее покупать необходимые услуги у специалистов, чем содержать штат исполнителей);

– стремление предприятия сфокусировать внимание на приоритетных задачах бизнеса и, таким образом, направить все имеющиеся трудовые и финансовые ресурсы на выполнение главных задач.

Можно условно выделить две системы аутсорсинга: классический внешний аутсорсинг и, так называемый, внутренний аутсорсинг (рисунки 1 и 2).

Внутренний аутсорсинг представляет собой создание собственной автономной структурной единицы, оказывающей услуги как подразделениям предприятия, так и внешним контрагентам с целью:

– оптимизации деятельности и затрат внутреннего подразделения компании, занимающегося персоналом;

– получения дополнительного дохода от деятельности этого подразделения на свободном рынке кадровых услуг.



Рисунок 1 – Организационно-функциональная структура кадровой службы при использовании внешнего аутсорсинга

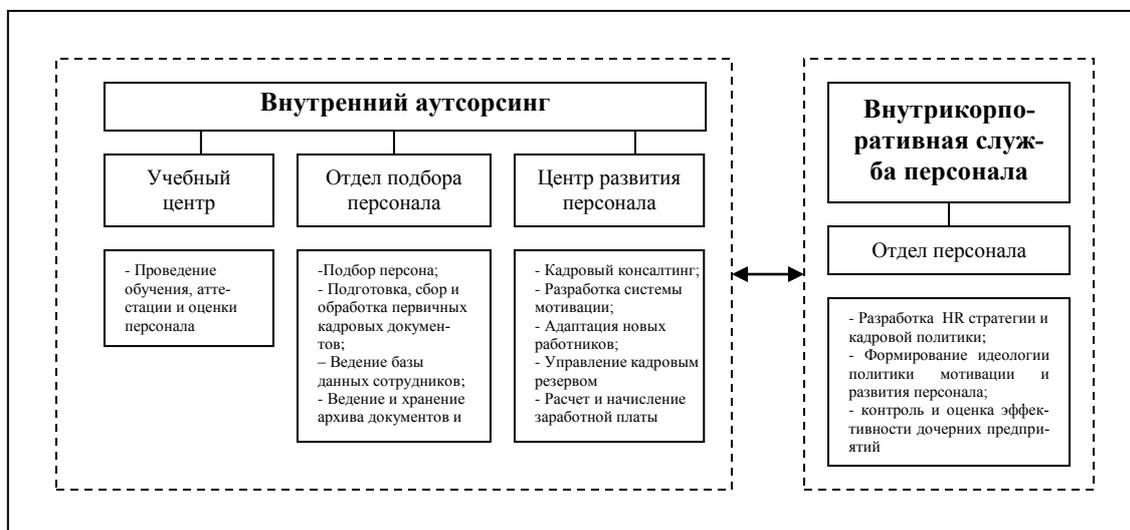


Рисунок 2 – Организационно-функциональная структура кадровой службы при использовании внутреннего аутсорсинга

Многие специалисты не принимают само определение «внутреннего аутсорсинга», так как даже если компания создает дочернее предприятие, которое будет управлять одним из направлений деятельности, то юридически это будет чистый аутсорсинг, поскольку управляющая компания является самостоятельным юридическим лицом.

Построение рациональной организационной структуры, обеспечивающей максимальную эффективность функционирования организации, является одной из важнейших задач руководства. Однако построение и дальнейшее эффективное управление организационной структурой является сложной задачей, поскольку на принципы ее построения влияет множество факторов – размер организации, специфика деятельности, ограничения по возможностям передачи и обработки информации в системе управления. А эффективность структуры обусловлена изменяющимися внешними и внут-

ренными условиями функционирования. Внешние условия – требования, предъявляемые к организационной системе внешней средой – нормы, характеристики рынка, и.т.д.; внутренние условия – организационные издержки на организацию и координацию участников организационной системы [3].

Таким образом, для каждой из имеющихся организационно-функциональных систем аутсорсинга необходимо определить оптимальные механизмы взаимодействия всех ее элементов с учетом заданного состава и целей, стоящих перед организацией.

В таблице 1 представлены положительные и отрицательные стороны использования данных систем аутсорсинга.

Использование аутсорсинга, независимо от выбранной системы, позволяет повысить эффективность предприятия за счет решения множества задач (таблица 2).

Таблица 1 – Преимущества и недостатки использования систем аутсорсинга

	Преимущества	Недостатки
Внешний аутсорсинг	<ul style="list-style-type: none"> <li>– наличие опыта аутсорсера по преобразованию неосновных функций в самостоятельный бизнес.</li> <li>– повышение качества и надежности выполнения переданных на аутсорсинг функций, так как при решении сходных задач компании-аутсорсеры уже накопили большой опыт и могут использовать новейшие технологии и высококвалифицированный персонал.</li> <li>– экономичность за счет специализации в узкой предметной области и благодаря эффекту масштаба, достигаемого при выполнении однотипных операций одновременно для множества клиентов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отсутствие правовой базы</li> <li>– привлекательность схемы аутсорсинга, в основном, для молодых людей до 30 лет, желающих таким образом получить опыт в разных компаниях из разных отраслей.</li> </ul>
Внутренний аутсорсинг	<ul style="list-style-type: none"> <li>– прозрачность расходов и доходов вспомогательных подразделений;</li> <li>– системность и четкость бизнес-процессов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отсутствие у дочерней компании опыта работы в конкурентных условиях на рынке;</li> <li>– значительные единовременные капиталовложения в перестройку непрофильного подразделения.</li> </ul>

Исследуя данную тему, авторы пришли к выводу, что иногда аутсорсинг внутри холдинга становится гораздо более выгодным и удобным спосо-

бом отведения отдельных функций, чем привлечение специалистов «со стороны». И в первую очередь, внутренний аутсорсинг интересен крупным компаниям, где непрофильные виды деятельности могут стать полноценным бизнесом. Однако в чистом виде ни одна из систем аутсорсинга кадровой службы не приемлем для крупного промышленного предприятия в силу того, что оно имеет ряд особенностей:

- большая численность персонала;
- разветвленная служба персонала с множеством функций.

Таблица 2 – Повышение эффективности предприятия от использования аутсорсинга

Задачи предприятия	Эффект от использования аутсорсинга
Повышение конкурентоспособности	Предприятие быстро реагирует на изменение конъюнктуры рынка за счет сфокусированности на основной деятельности и может улучшить качество своих продуктов и услуг за счет специализации провайдера, доступа к его знаниям и ресурсам
Сокращение затрат на содержание вспомогательных служб, уменьшение объемов документации для различных фондов и служб	Происходит сокращение численности вспомогательных служб вследствие передачи части объемов их работ аутсорсеру
Обеспечение прозрачности бизнеса	При аутсорсинге персонала платятся предусмотренные законом налоги и отчисления. Помимо этого клиент получает возможность структурировать свои затраты
Улучшение финансовых и экономических показателей	Клиент-заказчик может отнести часть операционных затрат на себестоимость, происходит рост производительности труда вследствие уменьшения численности собственного персонала
Повышение имиджа компании	Сокращаются риски возникновения судебных тяжб с персоналом, снижаются показатели по травматизму
Преодоление ограничений штатного расписания	Решение проблем развития бизнеса за счет заказа необходимых услуг у компании-провайдера
Улучшение работы с профсоюзами	Появляется возможность вместе с компанией-провайдером (агентством) выстроить новую, более гибкую систему отношений с профсоюзами

В связи с этим была разработана интегрированная организационно-функциональная структура кадровой службы крупного промышленного предприятия при его выводе на аутсорсинг (рисунок 3).



Рисунок 3 – Интегрированная организационно-функциональная структура кадровой службы при использовании внутреннего аутсорсинга

Модель базируется на том, что изначально промышленное предприятие обладает мощной кадровой структурой с обширной функциональной базой. В связи с этим целесообразно создать дочернее предприятие, которое будет выполнять свои прежние функции, но, с учетом идеологии, разработанной непосредственно на предприятии. На внешний же аутсорсинг целесообразно передать такие направления деятельности как: подбор и обучение персонала, а также расчет заработной платы в силу ее трудоемкости. Дочернее предприятие, входя в состав управляющей компании, является самостоятельным юридическим субъектом, то есть может предоставлять услуги на сторону, что является экономически выгодным.

Для эффективного функционирования предложенной структуры, наиболее целесообразным представляется использование механизма комплексного оценивания. Управляющему органу, которым в данном случае является внутрикорпоративная служба персонала, необходимо обладать полной информацией о поведении управляемых субъектов (центре развития персонала, кадрового агентства, учебных центров) для эффективных управляющих воздействий, начиная с этапа целеполагания и заканчивая этапом оперативного управления [3]. Деятельность каждого субъекта управления характеризуется комплексом показателей, каждый из которых оценивается по разработанной оценочной шкале [4]. Таким образом, оценивая эффективность деятельности каждого субъекта, управляющий орган на основе системы обратной связи, имеет возможность своевременно выявить проблемные зоны и разработать корректирующие действия для их устранения.

Итак, предложенная организационно-функциональная структура кадровой службы позволяет:

- сократить численность службы персонала на предприятии;
- обеспечить повышение эффективности таких процессов как подбор и обучение персонала;
- уменьшить финансовые затраты.

#### Библиографический список

1. Батурина О. Аутсорсинг в управлении персоналом // Кадровый менеджмент. – 2004. – № 3. – С. 20 – 24.
2. Лобанов О. Равнение на аутсорсинг // Управление компанией. – 2005. – № 1. – С. 14 – 22
3. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: Московский психолого-социальный институт, 2005. – 584 с.
4. Петров Е.В., Югов А.А., Гурина О.В. Видимый результат или система сбалансированных показателей для службы персонала // Справочник по управлению персоналом. – 2005. – № 12. – С. 28 – 40.
5. Солоненко Е. Аутсорсинг и управление знаниями // Персонал МИКС. – 2005. – № 1. – С. 32 – 40.

## АНАЛОГИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ\*

МЫШЛЯЕВ Л.П., ЕВТУШЕНКО В.Ф.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Наиболее хорошо разработано в теории управления направление синтеза и анализа систем управления, опирающееся на математическое описание объектов управления. По словам академика Н.Н. Моисеева «построение математических моделей – ... центральный этап исследования и проектирования любой системы» [1]. Здесь же утверждается, что от качества модели зависит конечный результат всей последующей работы. К этому направлению следует отнести, например, двухэтапный подход решения задач, который используется на практике для достаточно большого класса объектов управления. В основу этого подхода положена концепция «возмущенно-невозмущенного» движения [2]. Схема двухэтапного решения задач управления разделяет «процесс управления на два последовательных этапа – выбор программы и построения механизма реализации этой программы» [1].

На первом этапе в предположении, что внешние возмущения являются достаточно малыми, путем минимизации заданного функционала аналитическими или приближенными методами находят так называемую опорную или программную (невозмущенную) траекторию движения объекта управления. Для решения задачи этого этапа предполагают известной адекватную математическую модель внутреннего механизма процессов, протекающих в рассматриваемом объекте, модель в большом диапазоне изменения учитываемых входных и выходных воздействий, достаточно подробно описывающая все необходимые стадии преобразования вещества и (или) энергии.

На втором этапе решают задачу нахождения корректирующего управления, тем или иным образом зависящего от внешних возмущающих воздействий и обеспечивающего при заданных ресурсах максимально возможную точность достижения разработанной на первом этапе программной траектории. Для решения этой задачи используют более простые функциональные (кибернетические) модели объекта управления, адекватные в малой области изменения входных и выходных воздействий объекта, характеризующейся отклонениями фактических траекторий воздействий от их программных.

Область эффективного применения такого двухэтапного подхода соотносится с линейными системами и во многом определяется областью эффективного применения моделей внутреннего механизма процессов, т.е. для

---

\* Работа выполнена в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований №№ 08-07-12016, 08-07-00226, 06-07-89042.

хорошо изученных объектов и при наличии достоверных исходных данных. При выполнении указанных условий математическая модель внутреннего механизма процессов объекта управления является полноценным заменителем натурального объекта – оригинала при решении задач управления.

Однако эти ограничения не выполняются для достаточно широкого класса производственных объектов управления, которые в общем случае являются нелинейными динамическими объектами, функционирующими при наличии структурных, координатных и параметрических неопределенностей.

Решение задач управления такими объектами с привлечением современных методов теории управления, в частности, указанной двухэтапной схемы, наталкивается на ряд серьезных трудностей, связанных с построением и использованием адекватных математических моделей как технологических процессов, так и в целом для систем технологического управления. Недостаточная изученность внутренних закономерностей многих процессов, отсутствие и большие погрешности контроля части важных внешних воздействий и переменных внутреннего состояния существенно ограничивают возможность построения и применения математических моделей внутреннего механизма процессов.

Многолетний опыт теоретических исследований и прикладных разработок показал, что наиболее рационально использовать для таких объектов натурно-модельный подход, основанный на применении натурно-модельных блоков, объединяющих натурные компоненты действующих объектов и систем управления с их же пересчетными математическими моделями в окрестности натурно реализованных режимов [3, 4]. Такие блоки разработаны и успешно применяются для решения задач управления отдельными агрегатами, производственными комплексами и в социально-экономических системах.

Здесь в качестве полноценного заменителя натурального объекта – оригинала выступает уже не математическая модель внутреннего механизма процессов, а конечное множество определенным образом взаимосвязанных элементов натурной и модельной природы, которые в условиях отсутствия адекватной математической модели внутреннего механизма процессов, либо ее чрезмерной сложности позволяет с заданной точностью отобразить требуемые свойства, особенности и условия функционирования натурального объекта-оригинала. Будем называть в дальнейшем такое множество аналогом динамического натурального объекта. Одним из основных элементов аналога являются их поведенческие характеристики, под которыми будем понимать качественные и количественные показатели функционирования объектов независимо от их природы.

Сразу же отметим, что понятие аналога натурального объекта не новое. Оно использовалось и используется, например, в теории подобия [5, 6], где под ним понимается физическая модель, в которой протекают аналогичные оригиналу процессы, но реализованные на основе другой физической природы. При проектировании новых технологических объектов также используют понятие аналога натурального объекта, под которым понимают другой, дей-

ствующий натуральный агрегат такого же или аналогичного действия.

Однако при этом четко не оговаривается, что применения только одной физической модели в первом случае или натурального действующего агрегата во втором недостаточно, чтобы они выступали в качестве полноценного заменителя натурального объекта-оригинала. Необходимы еще и другие компоненты. В частности, для первого случая в состав аналога натурального объекта необходимо включить:

- физическую модель совместно с протекающими в ней процессами той или аналогичной физической природы;
- множество критериев подобия для установления требуемого соответствия между состояниями и режимами оригинала и модели;
- значения параметров, входящих в критерии подобия и масштабирующих коэффициентов для реализации на физической модели требуемых (желаемых) режимов протекания процессов.

Такое расширенное и вместе с тем конкретизированное понятие аналога натурального объекта позволяет методически правильно осмыслить, поставить и решить конкретную задачу управления (оценивание и прогнозирование состояний и выходных воздействий объекта, оптимизация технологических режимов и др.), что является особенно важным при отсутствии адекватной математической модели внутреннего механизма процессов исследуемого объекта.

В [7] предложена схема дальнейшего развития натурно-модельного подхода, основанная на дополнительном применении процедур формирования и выбора типопредставительных ситуаций (ТПС) совместно с расчетом эффектов отклонений контролируемых входных воздействий. Эта схема детально проработана и успешно применена в [8] для задач прогнозирования выходных воздействий и состояний управляемых производственных объектов дискретного, непрерывного и непрерывно-дискретного действия различных отраслей промышленности. В [9] эта же схема успешно использована для решения задач оптимизации состава угольных шихт и технологических режимов их коксования.

В этих задачах [8, 9] аналог сложного производственного комплекса «уголь–кокс», состоящего из нескольких цехов и поточно-транспортных систем коксохимического производства, был представлен с помощью натурно-модельного комплекса, который в свою очередь был отображен конечным набором ТПС. Каждая из ТПС была представлена:

- структурой объекта;
- поведенческими характеристиками, включая признаки ТПС, характеризующие внешние и внутренние условия функционирования объекта; ансамбль реализаций фактически измеренных входных, выходных воздействий и состояний (информационное отображение) объекта; ограничения на диапазон их изменения; реализации приведенных к выходу объекта возмущений и их аналоги;
- пересчетными математическими моделями по каналам преобразова-

ния отклонений управляющих и внешних контролируемых воздействий, адекватными в ограниченной области изменения указанных воздействий;

– критериями точности прогнозирования.

При этом предполагалось, что внутри каждой ТПС в малой области отклонений учитываемых воздействий возможно расчетным путем оценивать значения приведенных к выходу объекта возмущений в виде аддитивной составляющей движения. Процедура формирования и выбора ТПС с последующим расчетом эффектов отклонений контролируемых входных воздействий позволяет использовать внутри ТПС более простые по своей структуре, зачастую линейные, пересчетные математические модели преобразующих каналов объекта управления, адекватные в малой области отклонений фактических от типопредставительных траекторий учитываемых входных и выходных воздействий и состояний.

Область эффективного применения аналогов динамических объектов такого типа соотносится в общем случае с нелинейными динамическими объектами управления, функционирующими в условиях структурных, координатных и параметрических неопределенностей, а также при наличии резких и существенных изменений внешних и внутренних условий. Анализ результатов исследований и промышленной эксплуатации систем прогнозирования выходных воздействий и состояний многих промышленных систем управления [8] и оптимизации состава угольных шихт и технологических режимов коксового производства [9] подтвердил высокую эффективность алгоритмов прогнозирования и оптимизации, базирующихся на использовании аналогов динамических объектов указанного типа. В частности, точность прогнозирования показателей механической прочности кокса  $M_{40}$  и  $M_{10}$  возросла в 3,5 – 6,2 раза, а воспроизводимость результатов прогнозирования в 2,4 – 4,6 раза по сравнению с применяемыми алгоритмами на основе регрессионных соотношений.

Натурно-модельный подход на основе динамических аналогов натуральных объектов показал себя эффективным инструментом для решения особого класса задач прогнозирования, а именно прогнозирования технико-экономических показателей циклических объектов на длительное время (десятки и сотни лет). Для таких задач известные подходы и методы прогнозирования, базирующиеся на анализе предыстории прогнозируемых показателей, либо на моделях внутреннего механизма процессов, не могут дать удовлетворительных результатов.

В первом случае необходима предыстория динамики прогнозируемых показателей за период времени не меньше, чем интервал прогнозирования, что, конечно, не выполнимо. Во втором случае практически невозможно оценить адекватность динамических моделей из-за отсутствия натуральных (реальных) данных на таких длительных интервалах времени. В [10] предложен подход прогнозирования на длительные интервалы времени, который заключается в рациональном объединении:

1) поведенческих характеристик аналогов прогнозируемых объектов,

цикл «жизни» которых значительно короче, чем у изучаемого объекта, или имеются наблюдения за функционированием такого аналога на длительном интервале времени. Примером последних для случая прогнозирования свойств бетонов могут служить строительные конструкции, сооружения, имеющие многовековую историю, за прочностными характеристиками которых велось систематическое наблюдение, особенно в последние периоды их «жизни». Более реалистичный путь – создание «тяжелых» условий функционирования образцов исследуемых объектов для существенного уменьшения времени их «жизни»;

2) методов теории подобия, позволяющих достаточно точно перенести результаты функционирования аналогов на сами исследуемые объекты. Существующие методы и критерии подобия ориентированы главным образом на статику объектов, поэтому необходимо развитие известных и разработка новых критериев для динамики объектов. В рамках этого подхода в [10] разработаны две методики прогнозирования:

- на основе поведенческих характеристик аналога прогнозируемого объекта с применением методов подобия;

- на основе поведенческих характеристик аналога прогнозируемого объекта, полученных в ускоренном масштабе времени.

Первая методика включала выполнение следующих операций:

- регистрация поведенческой характеристики для аналога объекта прогнозирования;

- регистрация поведенческой характеристики объекта прогнозирования на начальном ограниченном отрезке (участке) функционирования объекта;

- установление коэффициентов изменения масштаба времени (масштабных множителей) для начальных участков функционирования аналога и объекта прогнозирования;

- прогнозирование значений поведенческой характеристики путем аффинных преобразований [11] и пересчетов по критериям подобия.

По второй методике выполнялись операции:

- получение поведенческой характеристики аналога объекта, функционирующего в ускоренном масштабе времени, например, подверженного влиянию знакопеременных нагрузок со значительно большей (в десятки раз) частотой, чем при нормальном функционировании объекта;

- определение коэффициентов изменения масштаба времени и критериев подобия;

- прогнозирование путем деформации (развертывания) поведенческой характеристики объекта с применением коэффициентов изменения масштаба времени и критериев подобия.

Проверка этих методик при прогнозировании на длительные интервалы времени таких показателей как модуль упругости и прочность на сжатие различных типов бетона показала, что они являются вполне работоспособными и дают удовлетворительную точность прогнозирования.

Приведем еще один пример эффективного применения подхода на основе аналогов натуральных объектов к решению задачи планирования длительности выполнения проектов. Современные условия проектирования, строительства и внедрения промышленных комплексов, когда сроки строительства объектов сокращаются в два и более раза, строительско-монтажные работы выполняются параллельно с проектированием, диктуют необходимость внесения определенных коррективов в существующие традиционные методы. Для таких условий целесообразно применять натурно-модельный подход на базе аналогов натуральных объектов, который позволяет, основываясь на информации об уже созданных комплексах, более полно выявлять неиспользованные резервы, учитывать реальные ситуации, как правило, получать лучшие результаты.

В [12] приведена постановка задачи выработки оптимальных нормативов на создание промышленных комплексов, ее решение в виде методики выработки нормативов и применение этой методики при проектировании и строительстве углеобогатительных фабрик (ОФ). В качестве поведенческих характеристик аналогов натуральных объектов выступают в данном примере фактически реализованные на других аналогичных, уже построенных и введенных в действие ОФ траектории освоения средств.

Сущность этой методики состоит в формировании эталонных нормативных траекторий, их приведении к базовым условиям, экстраполяции базовых траекторий, пересчете экстраполированных базовых нормативных траекторий на условия предстоящего проекта. В последующем выработанные нормативные траектории принимались за основу при разработке сетевых графиков проектирования и строительства углеобогатительных фабрик, а также для отдельных видов работ и объектов. Применение такого подхода при планировании длительности выполнения проекта позволило более полно учесть изменения условий в ходе проектирования и строительства ОФ, что совместно с соответствующим стимулированием при реализации плана привело к ускорению процесса создания ОФ в 1,15 – 1,20 раза.

В [13, 14] приведены многие примеры создания систем автоматизации управления на ОФ и на технологических комплексах угольных шахт, в частности, систем управления объектами с целенаправленно изменяемой структурой, с большими транспортными запаздываниями, с положительной обратной связью и др. В большинстве из них алгоритмы управления синтезированы на базе натурно-модельного подхода с использованием динамических аналогов натуральных объектов. Высокая эффективность этих систем подтверждена их реализацией и успешным функционированием на многих (около десяти) ОФ и наземных комплексах угольных шахт.

Приведенные здесь примеры убедительно показывают эффективность практического применения натурно-модельного подхода, основанного на использовании динамических аналогов натуральных объектов, при решении задач управления и необходимости его дальнейшего развития, в частности, связанного с решением следующих основных проблем:

- развития основ теории динамического подобия;
- построения пересчетных математических моделей объектов с нелинейной динамикой;
- формирования аналогов объектов, в том числе и в условиях динамического хаоса.

#### Библиографический список

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1981. – 488 с.
2. Летов А.М. Динамика полета и управления. / А.М. Летов. – М.: – Наука, 1969. – 359 с.
3. Натурно-математическое моделирование в системах управления: Учеб. пособие. / В.П.Авдеев, В.Я. Карташов, С.Р.Зельцер, С.Ф. Киселев. – Кемерово: КемГУ, 1987. – 85 с.
4. Мышляев Л.П. Построение и применение натурно-модельных комплексов. / Л.П. Мышляев, А.Е. Щелоков, В.Ф. Евтушенко // Библиотека сборника «Математические и экономические модели в оперативном управлении». - Вып. 4. – М.: Электрика, 2000. – 49 с.
5. Веников В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е, доп. и перераб. / В.А. Веников. – М.: Высшая школа, 1976. – 480 с.
6. Михеев М.А. Основы теплопередачи. / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.
7. Лебедев В.И. О подходах и методах принятия управленческих решений. / В.И. Лебедев, Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко // Перспективы развития горно-металлургического комплекса: Труды Международной конференции. – Новокузнецк: 1996. – С. 106 – 110.
8. Мышляев Л.П. Прогнозирование в системах управления. / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко. – Новокузнецк: СибГИУ, – 2002. – 348с.
9. Оптимизация поставок компонентов сырья и технологических режимов коксового производства./ Л.П. Мышляев, М.Б. Школлер, В.Ф. Евтушенко и др. // Кокс и химия. – 1996. – № 5. – С. 20 – 25.
10. Методики прогнозирования на длительные интервалы времени (с примерами для прочностных свойств бесцементного бетона). / Л.П. Мышляев, С.И. Павленко, Ю.Л. Мышляева, Н.В. Вечерова // Математические и экономические модели в оперативном управлении производством. – Вып. 10. – М.: Электрика, 1999. – С. 13 – 17.
11. Федер Е. Фракталы. / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
12. Планирование длительности выполнения проекта на основе ретроспективного анализа. / Л.П. Мышляев, В.В. Грачев, А.А. Ивушкин, А.П. Бражников. // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 2.2(28). – С. 273 – 276.
13. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х т. Т.2: Системы автоматизации производственного назначе-

ния. / Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин, Г.П. Сазыкин и др.; Под ред. Л.П. Мышляева. – Новосибирск: Наука, 2006. – 483 с.

14. Алгоритмы и системы автоматизации управления объектами угольной промышленности / А.А. Ивушкин, Л.П. Мышляев, В.Г. Харитонов и др. – Новокузнецк: СибГИУ, 2008. – 116 с.

УДК 669:519.876:5

## **МОДЕЛИ И КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Оленников А.А., Цымбал В.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

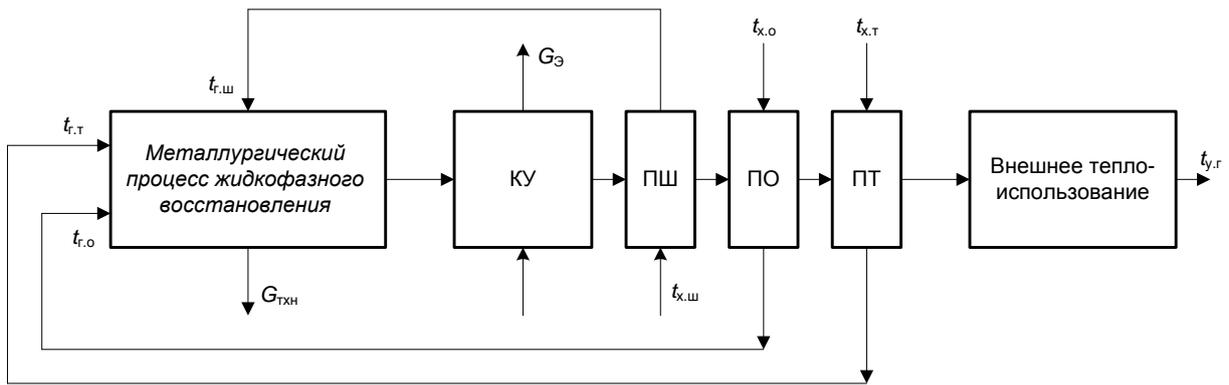
В настоящее время в процессах жидкофазного восстановления теряется с отходящими газами более 30 % физической и химической тепловой энергии, имеющими температуру порядка 1600 °С и значительное количество горючих составляющих. Такие тепловые потери приводят к существенному снижению КПД металлургического агрегата, а попытки освоения полной тепловой энергии в рабочей камере процесса приводят к нежелательным результатам и чаще всего к ухудшению выхода основной продукции.

Теряемая тепловая энергия металлургическими агрегатами может утилизироваться различными способами, например теплоэнергетическими установками. Одним из таких способов является отвод избытков физического и химического тепла. Полученная тепловая энергия может использоваться очень широко, как в самом процессе (подогрев сырья, догревание окислителей), так и во внешнем теплоиспользовании (рисунок 1).

Выбор способа теплоутилизации является не простой задачей и требует большого количества расчетов. Общая структура по выбору оптимального варианта представлена на рисунке 2.

Данная структура показывает пошаговое движение по выбору оптимального варианта. Всю задачу по утилизации тепловой энергии можно разбить на несколько подзадач:

- Определение физических параметров отходящей газовой смеси.
- Выбор схемы утилизации тепла с последующим уточнением.
- Решение теплотехнической и конструкторской частей на моделях.
- Аэродинамический расчет по ходу движения газов.
- Расчет сквозного коэффициента использования тепловой энергии газов.
- Энерго-экономический анализ.



КУ – котел-утилизатор; ПШ, ПО и ПТ – подогреватели шихты, окислителя и топлива;  $t_{х,т}$  и  $t_{г,т}$  – температура топлива на входе и выходе;  $t_{х,о}$  и  $t_{г,о}$  – температура окислителя на входе и выходе;  $t_{х,ш}$  и  $t_{г,ш}$  – температура шихты на входе и выходе;  $t_{у,г}$  – температура отходящих газов;  $G_{ТХН}$  и  $G_Э$  – выход технологической и энергетической продукции

Рисунок 1 – Комбинированная схема использования энергии отходящих газов металлургических агрегатов

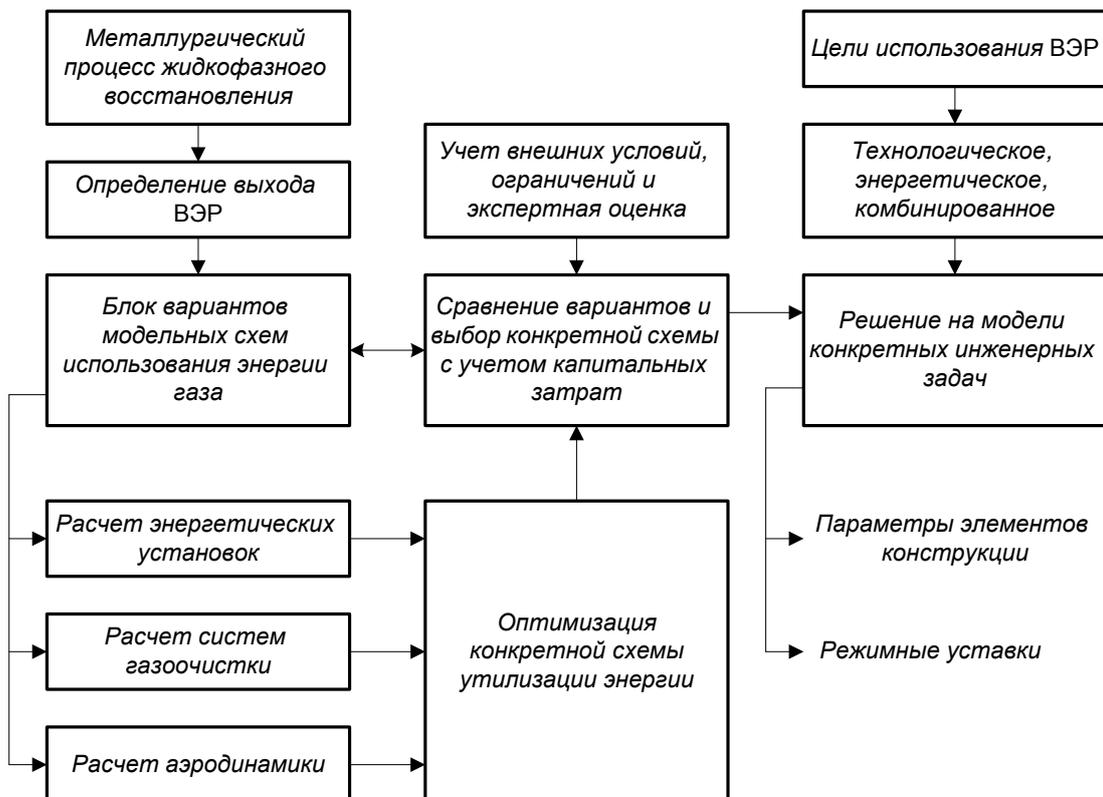


Рисунок 2 – Структура выбора оптимальной схемы утилизации тепловой энергии

Основное и довольно перспективное направление отвода тепловой энергии от отходящих газов на сегодняшний день, использование котлов-утилизаторов. В качестве дополнительного внешнего теплоиспользующего устройства котел-утилизатор обычно не оказывает влияния на характер основного технологического процесса. Но также может и способствовать улучшению работы технологического агрегата.

По своему строению котлы-утилизаторы состоят из трех групп теплообменников: пароперегреватель, испарительные секции и экономайзер. Подробнее остановимся на экономайзере, который предназначен для подогрева питательной воды до поступления ее в испарительную часть котельного агрегата. Предварительный подогрев воды за счет теплоты дымовых газов существенно увеличивает КПД котельного агрегата. В зависимости от применяемого материала экономайзеры делятся на чугунные и стальные, по типу поверхности - на ребристые и гладкотрубные, по степени подогрева воды - на некипящие и кипящие.

При моделировании экономайзера, третьей ступени КУ, для того или иного технологического агрегата, необходимо произвести ряд сложнейших однотипных теплотехнических операций. Учесть ряд факторов влияющих на физические характеристики экономайзера (коррозия, абразивный износ, скорость омывания стенок газами), суммарный коэффициент теплоотдачи.

Для рассмотрения этой задачи был создан программный продукт в среде «Delphi 7», который работает в среде Windows и обладает удобным дружественным интерфейсом. Диалоговое окно программы представлено на рисунке 3.

В левой части диалогового окна производится ввод исходной информации: температура и энтальпия отходящих газов на входе в экономайзер и выходе, расчетный расход топлива, производительность по насыщенному пару. Программа способна производить теплотехнический расчет поверхностей теплообмена, учитывая при этом из какого материала будут изготавливаться секции экономайзера. В качестве исходной информации задаются также геометрические размеры канала, в который будет монтироваться экономайзер. После нажатия на кнопку «Расчет» в правой части диалогового окна выдаются результаты теплотехнического расчета.

Так как расчеты составных частей экономайзера повторяются, то расчет по структурной схеме до расчета и выходных параметров производится N-раз, с целью нахождения оптимальных значений параметров – площади поверхности теплообмена, тепловосприятие и температуры дымовых газов на выходе.

Потребительские качества нового программного продукта были опробованы при проведении расчетов котлов-утилизаторов в дипломном проектировании. Во всех случаях отмечена достаточная точность и достоверность конечных результатов. Разработанный программный продукт может быть рекомендован к использованию в проектировании и учебном процессе при выполнении курсовых, дипломных проектов, а также при проведении науч-

но-исследовательских работ.

The screenshot shows a software window titled "ESAPR\_Ekonomizer". It is divided into two main sections: "Данные для расчета" (Data for calculation) on the left and "Расчеты" (Calculations) on the right. The left section contains a list of input parameters with their values in adjacent text boxes. The right section displays the results of the calculations.

Данные для расчета	
Температура на входе, $v'$	266
Энтальпия на входе, $I'$	2213,592
Температура на выходе, $v''$	150
Энтальпия на выходе, $I''$	1301,967
Коэффициент сохранения тепла, $\eta$	0,981
Расчетный расход топлива, $V_p$	3,2
Расчет произ-ть по насыщ. пару, $D_{np}$	2
Температура на входе, $t'_{пв}$	104,00
Энтальпия воды на входе, $i'$	4927,82
Энтальпия воды на выходе, $i''$	6290,57
Температура воды на выходе, $t''$	102,92
Сечение для прохода газов 1-ой трубы, $F_{тр}$	3,6
Число труб в горизонтальном ряду, $Z_1$	8
Коэффициент теплопередачи, $K$	1,51
Площадь поверхности нагрева с газовой стороны, $N_{гр}$	40

Расчеты	
$ix.v.$	=213,73
$Q_b$	=915,27(кДж/кг)
$D_{эк}$	=2,10(кг/с)
$dt$ (большая)	=163,08(град. цельсия)
$dt$ (меньшая)	=46,00(град. цельсия)
$v_{ср}$	=208,00(град. цельсия)
$i'$	=6322,52(кДж/кг)
$F$	=28,80(кв.м)
$W$	=1,76(м/с)
$dt$	=92,51(град. цельсия)
$H$	=20966,99(кв.м)
$Z_2$	=66,00(шт.)
$N_{эк}$	=21120,00(кв.м)
$Q_t$	=921,95(кДж/кг)
$I'$	=1295,16(кДж/кг)
$i'$	=6332,70(кДж/кг)
$\Delta$	=0,73(%)

Рисунок 3 – Оконный интерфейс программного продукта ESAPR\_Ekonomizer

Выводы. Предложен метод поиска оптимального варианта реализации тепловой энергии отходящих газов для комбинированных схем использования вторичной тепловой энергии металлургических агрегатов жидкофазного восстановления и комплекс математических моделей. На основе структуры, представленной на рисунке 2 и пакета математических моделей, разработан программный продукт *SKV\_SAPR* в среде Borland Delphi 7.

#### Библиографический список

1. Семенов Н.А. Организация теплоиспользования и энерго-технологическое комбинирование в промышленной огнетехнике – М.: Энергия, 1976. – 280 с.
2. Нестеренко Н.А. Вторичные энергоресурсы промышленности и и энерго-технологическое комбинирование, М., «Энергия», 1968.
3. Войнов А.П. и др. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты / А.П. Войнов, В.А. Зайцев, Л.И. Куперман, Л.Н. Сидельковский; - М.: Энергоиздат, 1989. – 272с.
4. Булгаков, К.В. Использование вторичных энергетических ресурсов [Текст] / К.В. Булгаков, - М.-Л., Госэнергоиздат, 1963. – 184 стр.

5. Юсфин, Ю.С. О возможности ресурсосбережения в агрегатах жидкофазного восстановления (на примере ПЖВ) / Ю.С. Юсфин, П.И. Черноусов, Г.М. Степин, А.Я. Травянов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1996. – № 9. – С. 8 – 14.
6. Люнген Х.Б., Мюльхаймс К., Штеффен Р. Современное состояние процессов прямого восстановления и восстановительной плавки железных руд./ Х.Б. Люнген, К. Мюльхаймс, Р. Штеффен // Черные металлы, 2001, октябрь, стр. 20 – 34.

УДК 621.771:658.513

## **АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ**

МУСАТОВА А.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Планирование является необходимым элементом эффективного функционирования предприятия. Процесс планирования производственной программы предполагает разработку системы взаимосвязанных обоснованных показателей, направленных на выполнение заданий по производству определенных видов продукции. Тщательно разработанные планы дают возможность руководству различных уровней управления предвидеть результаты деятельности предприятия (его подразделений), оценить, скорректировать действия и принять рациональные производственно-хозяйственные решения.

Качество планов во многом зависит от умения организовать, творчески применять формы и методы планирования. Следует отметить, что для обеспечения точности и достоверности результатов планирования необходимо наличие нормативной базы, то есть комплексной системы нормативных показателей. В связи с этим целью представленной работы являлось создание модели нормирования показателей производственной программы исследуемого объекта на текущий период (год, квартал или месяц) при заданных входных параметрах.

Объектом исследования производственной системы (ПС) был выбран непрерывный высокоскоростной мелкосортный стан «250», как структурное подразделение сортопрокатного цеха ОАО ЗСМК. Стан предназначен для производства готовой мелкосортной продукции, включающий круглые и периодические профили. Исходной информацией при разработке нормативной модели (блок-схема которой представлена на рисунке 1) являлись: технические характеристики, технологические параметры, хронометражные наблюдения, фактические показатели работы стана предварительно прошедшие полный экономико-статистический анализ (за три года по месяцам); анализ спроса на рынке товаров, анализ предложений (по номенклатуре продукции)

и производственного потенциала системы.

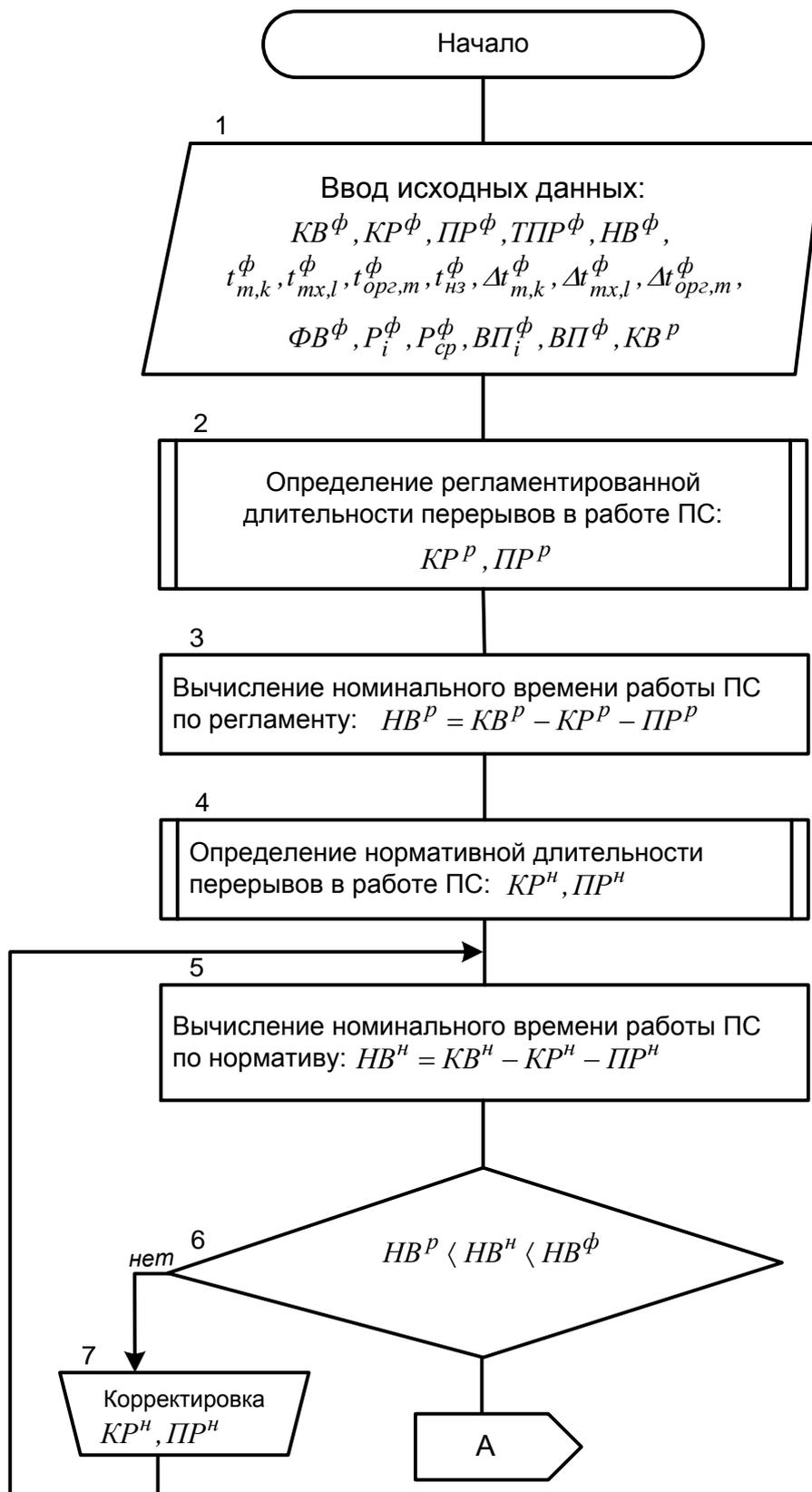
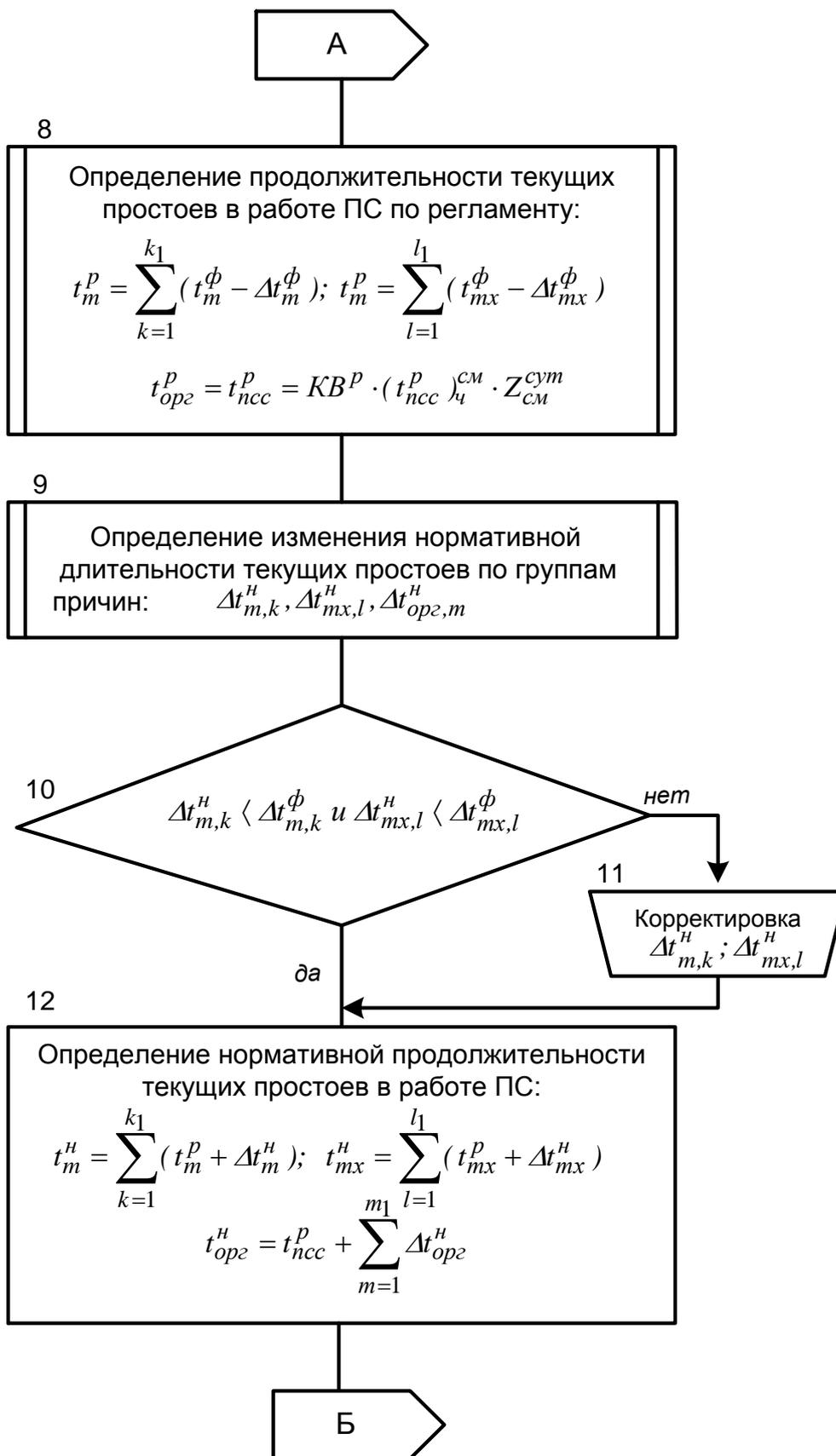
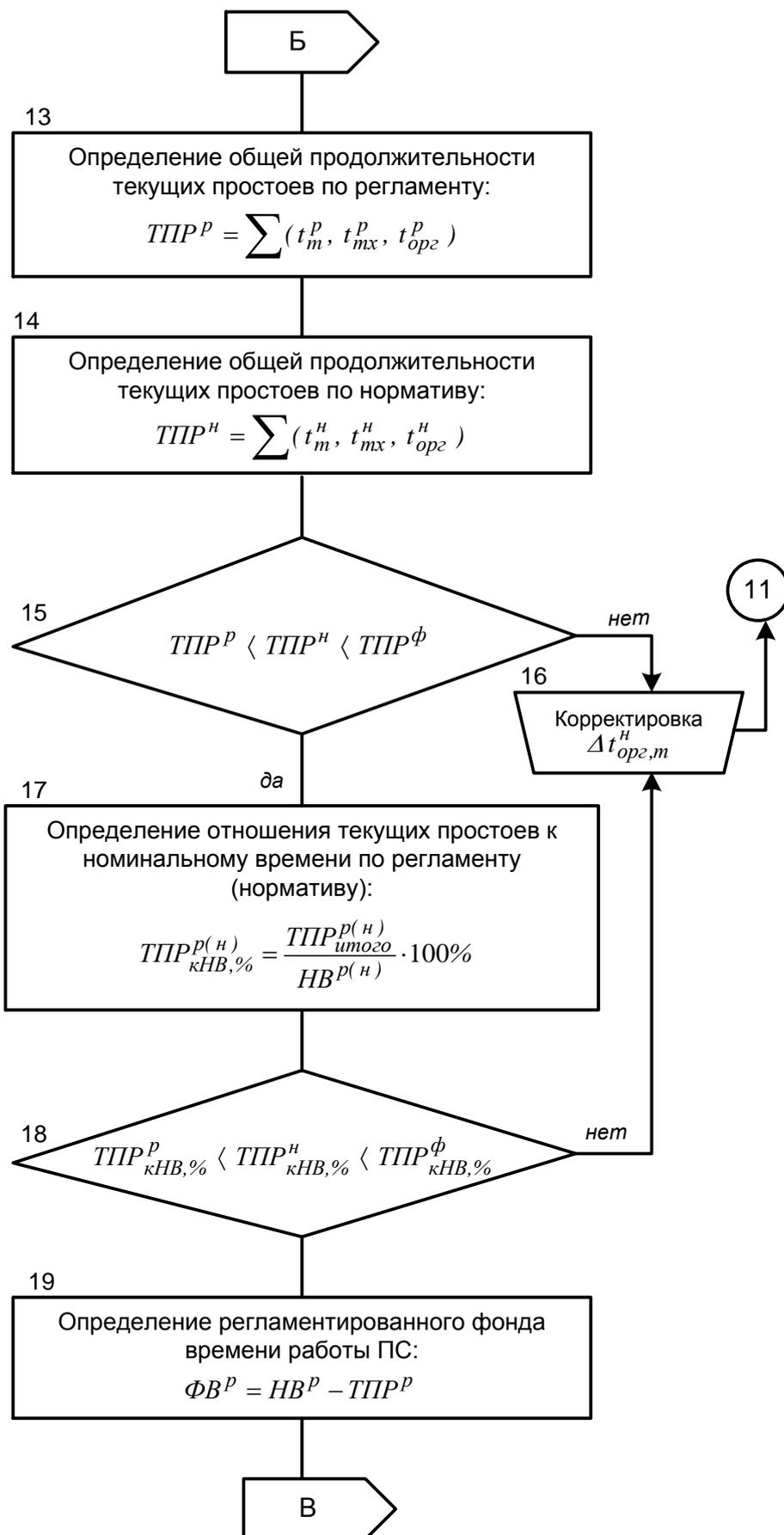


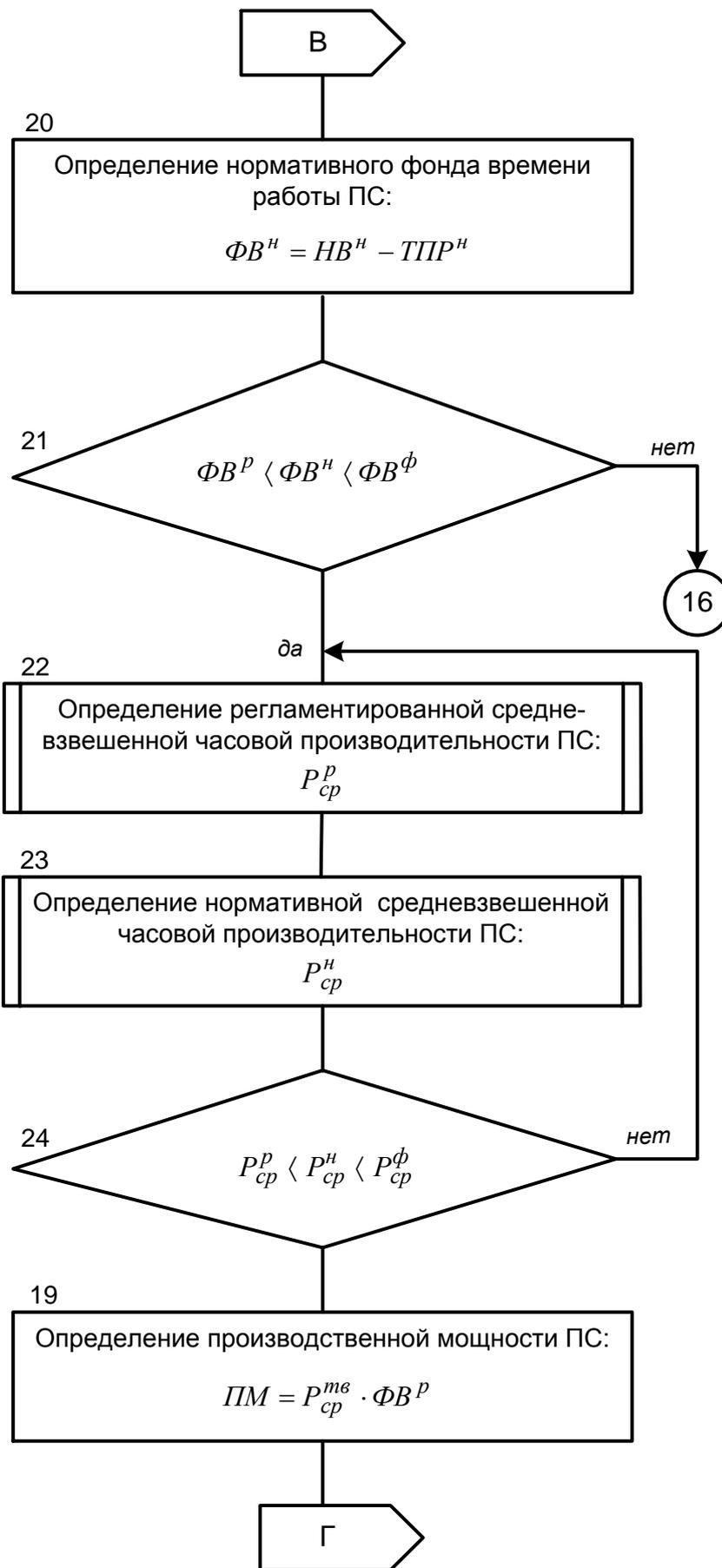
Рисунок 1 – Математическая модель планирования показателей производственной программы ПС



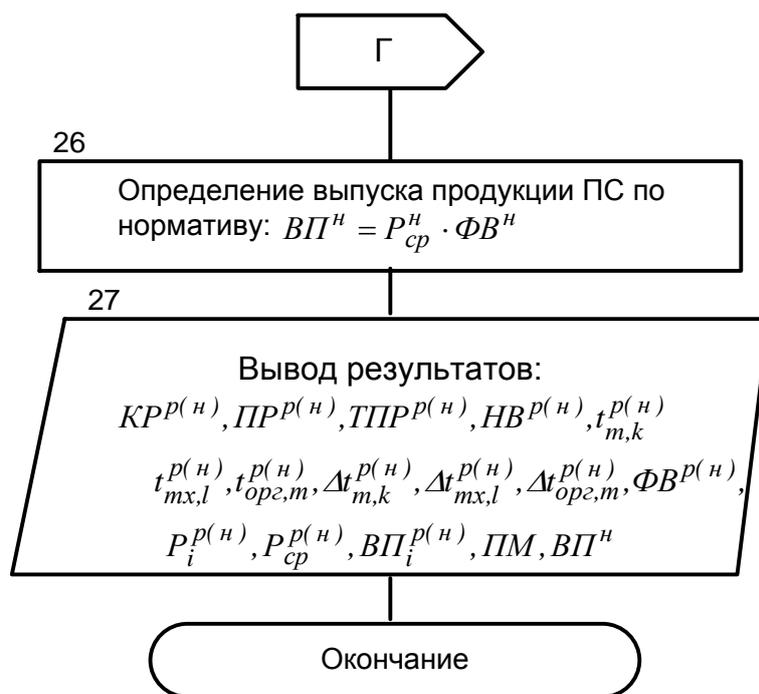
Продолжение рисунка 1



Продолжение рисунка 1



Продолжение рисунка 1



Окончание рисунка 1

Таблица 1 – Производственная программа мелкосортного стана «250»

Наименование по-казателя	Обозначе-ния	Ед. изм.	Значения		
			регламент-ные	фактиче-ские	норматив-ные
1. Календарное время	<i>KB</i>	сут	365	365	365
		ч	8760	8760	8760
2. Время на капитальный ремонт	<i>KP</i>	ч	-	-	72
3. Время на предупредительные ремонты	<i>PP</i>	ч	312	384	336
4. Номинальное время	<i>NB</i>	ч	8448	8376	8424
5. Время на текущие простои:	<i>ТПР</i>	ч	1085	1408,30	1170
– технические	$t_m$	ч	320	550,64	350
– технологические	$t_{mx}$	ч	400	267,98	420
– организационные	$t_{орг}$	ч	365	511,04	400
– независящие	$t_{нз}$	ч	-	78,64	-
6. Текущие простои к <i>NB</i>	$ТПР_{нб}$	%	12,95	16,81	13,97
7. Фактическое	<i>ФВ</i>	ч	763,00	6967,70	7254,00

время					
8. Производительность стана	$P_{cp}$	т/ч	148,05	112,195	133,26
9. Выпуск продукции	$ВП$	т	-	781741	960099
10. Производственная мощность	$ПМ$	т	1089908	-	-

При определении величины плановых значений показателей производственной программы необходимо осуществить выбор с учетом ситуаций:

– плановые значения приравниваются к нормативным (в случае рациональной загрузки оборудования при достаточном спросе на товарную продукцию);

– плановые значения ниже нормативных, причем, величина отклонений зависит от ряда факторов, возникающих внутри подразделения, предприятия, а также от внешних факторов.

Предлагаемая модель была реализована на высокоуровневом языке программирования Borland Delphi 7.0. Полученные значения регламентированных и нормативных показателей производственной программы на планируемый период (год) представлены в таблице. Разработанная математическая модель позволяет осуществлять многовариантное комплексное планирование показателей производственной программы с учетом возникающих ситуаций в текущем периоде функционирования ПС.

УДК 621.771

## **СИТУАЦИОННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПРОСА НА ПРОДУКЦИЮ**

Мусатова А.И., Кулаков С.М., Кадыков В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Одной из важнейших задач оптимизации финансово-хозяйственной деятельности предприятия является эффективное его функционирование, которое обеспечивается совокупностью взаимосвязанных технических, технологических, материальных, кадровых и финансовых ресурсов. В современных рыночных условиях система оперативного планирования и регулирования производства ориентирована на получение запланированных показателей для своевременного выпуска, реализации продукции и получения максимальной прибыли.

Основой внутрифирменного планирования является портфель заказов формируемый с учётом спроса рынка на выпускаемую предприятием про-

дукцию. Главными рыночными факторами, которые повышают роль и значение внутрифирменного планирования вообще и оперативно-календарного планирования, в частности, являются:

- снижение объемов производства;
- необходимость равновесия спроса и предложения;
- требование быстрого изменения объема выпуска при снижении или повышении рыночного спроса;
- возможные отклонения фактического хода производства от оперативных планов-графиков.

В данной работе рассматривалось планирование технико-экономических показателей листопрокатного цеха с учётом прогнозируемых заказов на готовую продукцию на последующие месяцы. Поэтому для выявления целесообразности принятия решения о выполнении поступивших заказов осуществлялось моделирование технико-экономических показателей по следующему алгоритму. Сначала разрабатывалась стандартная (базовая) программа на заданный сортамент (листы определенных размеров и марок стали в процентном соотношении объемов) при условии оптимальной загрузки оборудования для получения нормативного выпуска продукции, то есть  $ВП_{см}^H$  предполагает 100%-ный объем заказов.

Как показал анализ поступивших заказов спрос на продукцию за последние два года по месяцам имеет скачкообразную тенденцию к снижению. Кроме того, наблюдаются заказы мелкими партиями и разнообразного сортамента. В результате возникает необходимость предварительно оценивать эффективность выполнения поступающих заказов (особенно при пониженных объемах товарной продукции) на основе сравнительного анализа технико-экономических показателей стандартного (базового) и прогнозного варианта.

Для выявления насколько будет снижен объем выпуска продукции ( $ВП^H$ ) на заданный сортамент в зависимости от спроса по сравнению с возможным выпуском продукции была разработана нормативная модель прогнозирования работы листопрокатного цеха с учетом производственных ситуаций:

- прогнозный вариант № 1 ( $ВП_1^H < ВП_{см}^H$  на 20 %) при работе трех методических нагревательных печей;
- прогнозный вариант № 2 ( $ВП_2^H < ВП_{см}^H$  в среднем на 27,4 %) в зависимости от размера листа по следующим ситуациям: при работе трех печей; при работе двух печей с полной их загрузкой; при работе двух и трех печей в зависимости от толщины листа;
- прогнозный вариант № 3 ( $ВП_3^H < ВП_{см}^H$  на 40 %) при работе двух нагревательных печей;
- прогнозный вариант №4 ( $ВП_4^H < ВП_{см}^H$  на 62 %) при работе одной на-

гревательной печи с полной ее загрузкой.

Процесс моделирования прогнозируемых технико-экономических показателей листопрокатного цеха в зависимости от объема поступивших заказов представлен на схеме (рисунок 1).

Во всех производственных ситуациях по отношению к стандартному варианту проводился пересчет себестоимости единицы продукции с учетом изменения каждой статьи при снижении объема производства и доли условно-постоянных и переменных затрат. А также в случае работы двух или одной печей, осуществлялась корректировка (снижение) следующих статей, таких как: топливо технологическое; энергетические затраты; ремонтный фонд; амортизационные отчисления; износ сменного оборудования; содержание основных средств; фонд заработной платы производственных рабочих при сокращении численности в зависимости от количества функционирующих печей.

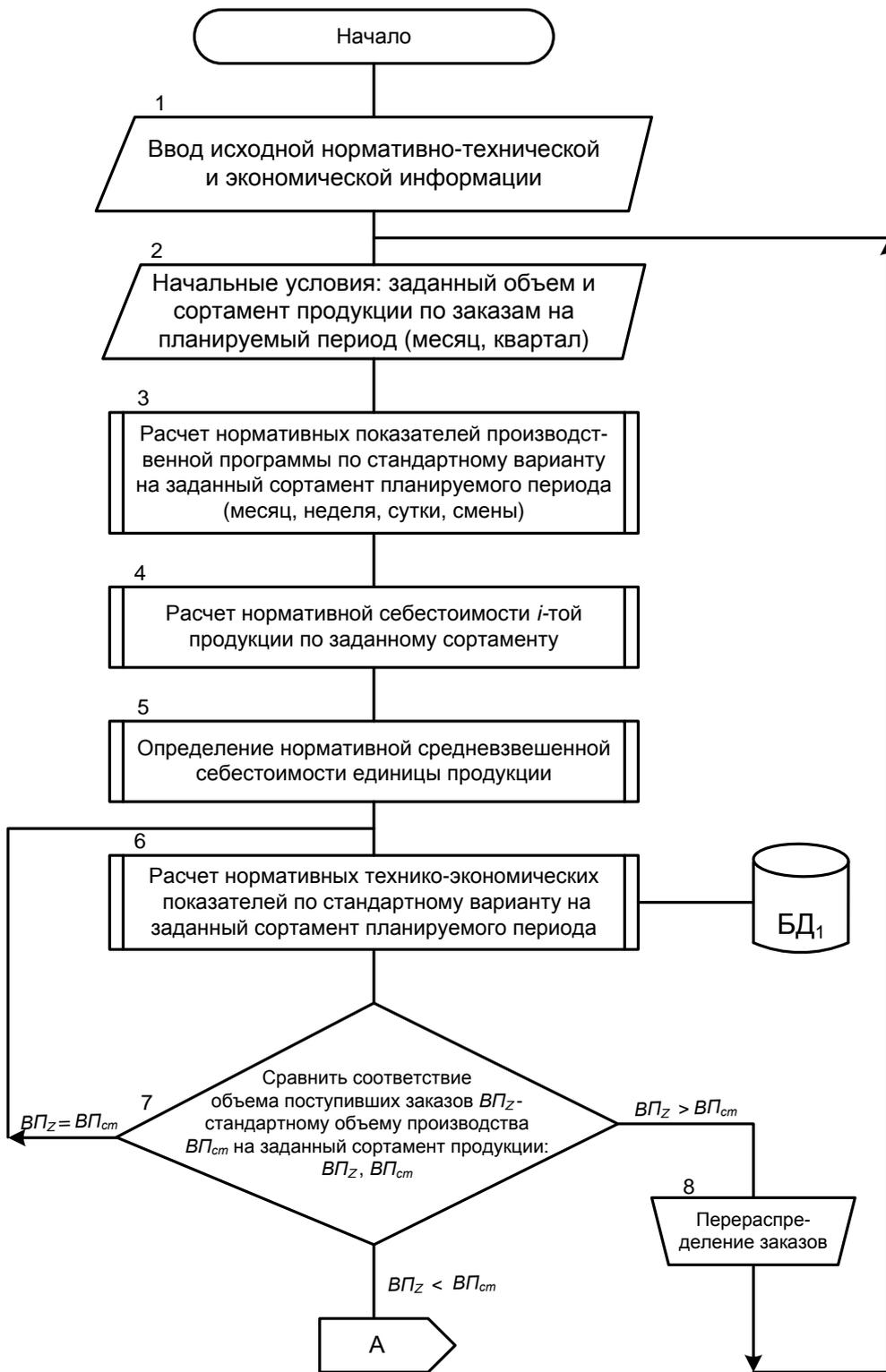
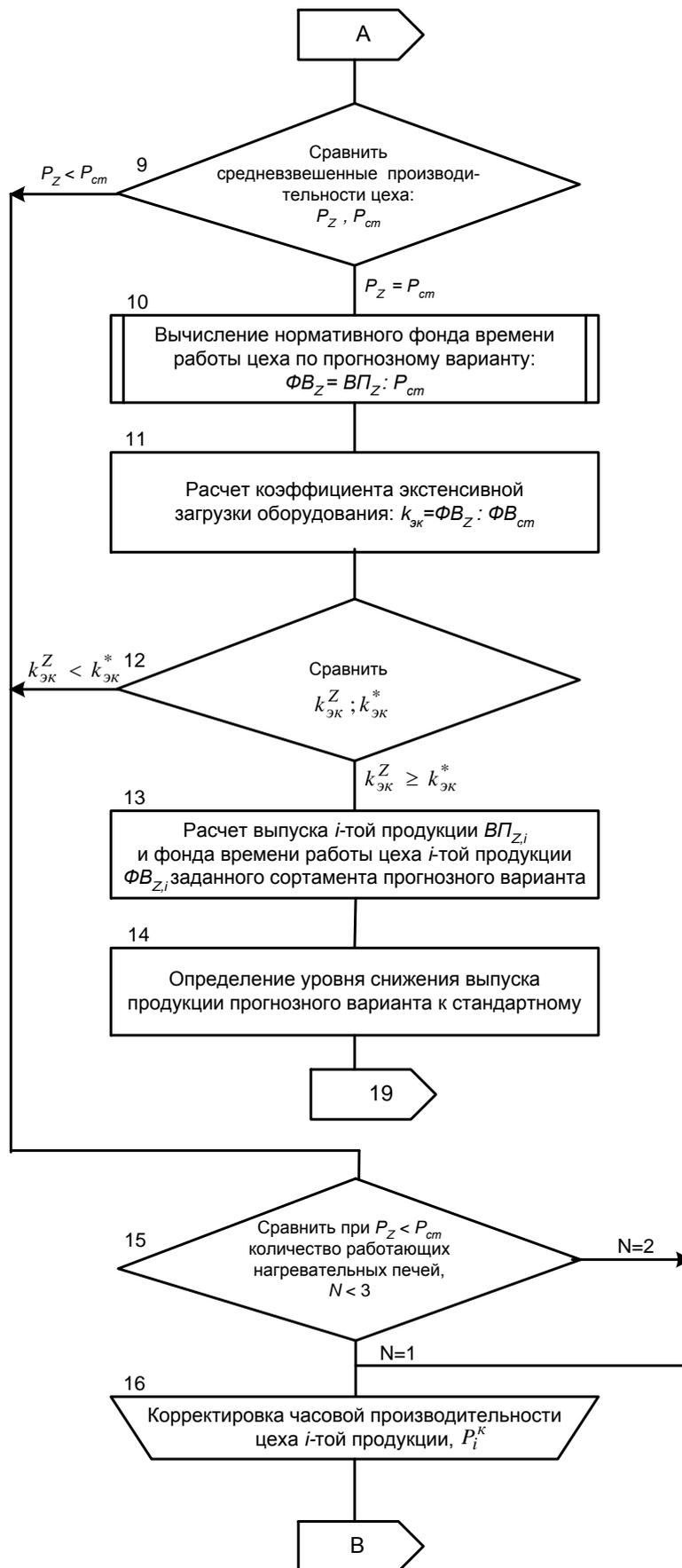


Рисунок 1 – Логическая схема прогнозирования технико-экономических показателей листопрокатного цеха



Продолжение рисунка 1



Окончание рисунка 1

Результаты моделирования работы цеха на планируемый месяц с учетом прогнозных объемов заказов на заданный сортамент листопрокатной продукции показал следующие ожидаемые изменения при снижении выпуска продукции (соответственно варианты №№ 1, 2, 3) по отношению к стандартному варианту:

– уменьшится фонд времени работы цеха на 117,8 ч; 161,1 ч; 166,2 ч; снизится производительность цеха на 18,5 т/ч (вариант № 2); 18,3 т/ч (вариант № 3);

– увеличится себестоимость единицы продукции на 261,7 руб./т; 367,9 руб./т; 672,8 руб./т;

– сократятся объем продаж на 88,3 млн. руб.; 120,9 млн. руб.; 156,6 млн. руб. и рентабельность продукции на 4, 6 и 8 %.

УДК 658:662.2

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОРМАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ В ОЦЕНКЕ ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Кулаков С.М., Валишевская Л.Г., Мусатова А.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Производственная система (ПС) представляет собой сложный целостный динамический объект, характеризующийся производственно-техническим единством, организационно-административной обособленностью и (возможно) финансово-экономической самостоятельностью.

Без научно обоснованных нормативов производительности ПС невозможно правильно установить удельные нормы расхода всех видов ресурсов; создать нормативы оптимальных запасов, определить нормативную себестоимость продукции и рассчитать прибыль от продажи. Упускается возможность создания комплексной нормативной базы, пригодной для оперативного управления деятельностью промышленного предприятия как открытой системы. Это оказывает дестабилизирующее влияние на материальные потоки предприятия, усложняет координацию работы комплекса, снижает платежеспособность и ухудшает в целом финансовое состояние предприятия. Поэтому особое внимание следует уделить совершенствованию организации и планирования производства на нормативной основе для обеспечения бесперебойности согласованной работы производственной системы, что позволит улучшить как показатели производственной платежеспособности, так и потенциальной.

Производительность ПС связана (через объем производства) с такими показателями, как: себестоимость, прибыль, рентабельность, длительность оборота оборотных средств, платежеспособность и другие финансовые показатели. Таким образом, производительность ПС оказывает влияние не только

на технико-экономические показатели, но и на финансовую устойчивость, ликвидность, платежеспособность и оборачиваемость (деловую активность) предприятия, которые оцениваются следующими показателями: коэффициентами задолженности, автономии, обеспеченности собственными и оборотными средствами, рентабельностью (оборотного капитала и продаж); внутреннего долга; степенью общей платежеспособности.

Для объективной оценки общей платежеспособности предприятия необходимо, в первую очередь, определить производственную платежеспособность, которая предполагает погашение своих периодически возникающих обязательств за счет функционирования ПС своевременно и в полном объеме. Такая платежеспособность не допускает нарушение финансово-хозяйственной деятельности. Стабильная и эффективная работа предприятия достигается при выборе оптимальной стратегии его развития, которая связана с использованием обоснованных нормативных моделей производительности ПС и прогнозирования показателей производственной программы. Основными факторами, влияющими на производственную платежеспособность предприятия, являются доходность оборотного капитала, рентабельность продаж, оборачиваемость активов и срочность погашения обязательств. На потенциальную платежеспособность предприятия влияют: коэффициент внутреннего долга, степень и коэффициент платежеспособности. В настоящее время оценка фактической платежеспособности осуществляется на основе информации по отчетам и учетным статистическим данным предприятия.

При планировании, текущем и оперативном управлении материальными и финансовыми потоками авторами предлагается применять разработанные нормативные модели, оценивающие прогнозные значения технико-экономических и финансовых показателей, необходимые в дальнейшем для предприятия эффективных управленческих решений. Использование нормативных моделей для прогнозирования общей платежеспособности предприятия представлено на схеме (рисунок 1).

На основе моделирования производственной и финансовой деятельности одного из металлургических предприятий были определены прогнозные значения показателей платежеспособности на плановый год и представлены руководству для апробации.

По истечении планового периода была проведена сравнительная оценка показателей за два отчетных периода: без использования и с использованием разработанных авторами нормативных значений. Результаты оценки хозяйственной деятельности за анализируемый период представлены в таблице 1.

Анализ производственной и потенциальной платежеспособности показал, что при использовании нормативной базы повысилась результативность работы предприятия за последующий отчетный год по всем показателям. Следует отметить, что у руководства предприятия теперь появилась возможность оценивать имеющийся резерв, используя нормативные показатели.

Так, например, нормативная степень платежеспособности по всем обязательствам составляет 2,8 месяца, что является оптимальным значением для данного предприятия. В предшествующем отчетном (базовом) периоде она составляла 3,9 месяца, а в последующем отчетном – 3,1 месяца, что показывает о существующих резервах снижения степени платежеспособности на 10,7 % для предприятия по сравнению с нормативными значениями. Следовательно, без обоснованной нормативной базы мало вероятности достичь оптимальных значений платежеспособности.

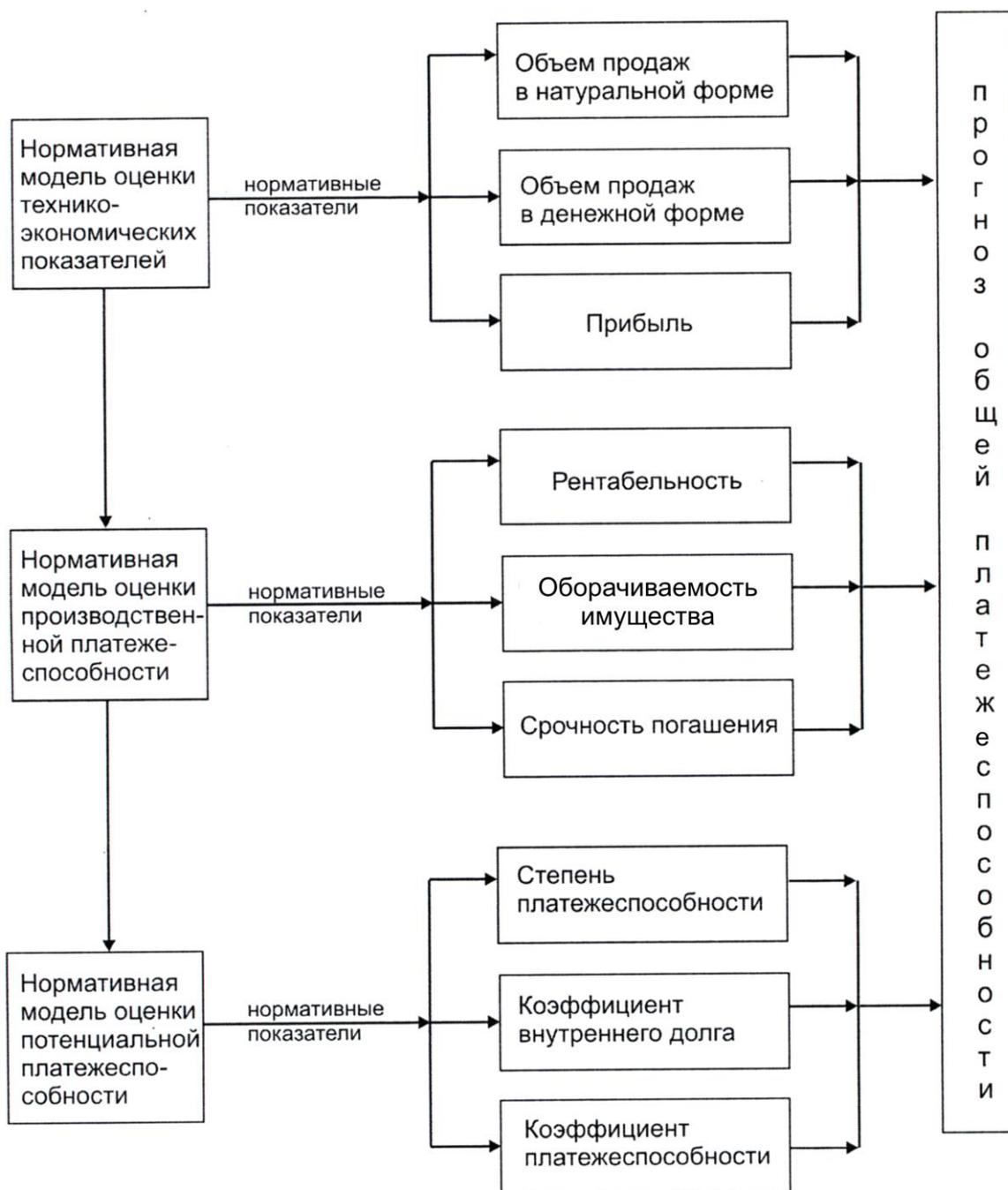


Рисунок 1 – Схема использования нормативных моделей для прогнозирования общей платежеспособности предприятия

Таблица 1 – Оценка хозяйственной деятельности предприятия

Показатели	Единицы измерения	Значения по годам			Темп роста, %	
		базовый	нормативный	отчетный	к базе	к нормативу
<b>I. Финансовые результаты производственной деятельности</b>						
1. Объем реализации товарной продукции	млн. руб.	159,9	198,8	179,35	124,3	90,4
2. Прибыль от реализации товарной продукции	млн. руб.	25,9	33,7	30,25	116,8	89,5
<b>II. Показатели производственной платежеспособности</b>						
3. Рентабельность: - продаж	%	16,2	17,0	16,87	104,1	99,2
- оборотного капитала	%	3,7	4,2	3,85	104	91,7
4. Срочность погашения обязательств	дни	81	65	69,5	85,8	106,9
<b>III. Показатели потенциальной платежеспособности и финансовой устойчивости</b>						
5. Степень платежеспособности: - общая	месяцев	3,9	2,8	3,1	79,5	110,7
- по текущим обязательствам	месяцев	3,2	2,5	2,7	84,4	108
6. Коэффициент внутреннего долга	месяцев	2,6	2,0	2,3	88,5	115
7. Коэффициент платежеспособности	доли	1,01	1,0	1,1	108,9	110

Авторы считают, что для анализа и прогнозирования хозяйственной деятельности предприятия необходимо создание информационно-нормативной базы технико-экономических и финансовых показателей, позволяющих оценивать и эффективно управлять финансово-хозяйственной деятельностью предприятия.

## ЛОКАЛЬНАЯ АСУ ТП ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ «ПОДЪЁМ»

Островлянчик В. Ю., Дужий А. В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Шахтные подъемные установки (ШПУ) являются уникальными сооружениями в горнодобывающей промышленности. Масса движущихся частей при их работе составляет до 1000 т. Каждая ШПУ – это сложный технологический комплекс, включающий в себя подъемную машину, которая по определению, данному Ростехнадзором относится к горно-шахтному оборудованию повышенной опасности.

В НИИ АИЭМ СибГИУ с 1981 г. ведется НИОКР по техническому перевооружению подъемов на рудниках Горной Шории и Красноярского края при этом наметились реальные перспективы решения не только проблем безопасности, но и создания автоматической подъемной установки.

В настоящее время разработаны и внедрены основные модули автоматической управляющей системы, это унифицированная система автоматического регулирования скорости, информационно-диагностическое устройство, контроллер технологической автоматики и защит, программируемый аппарат защит и контроля хода шахтной подъемной машины.

Объединение этих модулей позволяет получить более высокий уровень – локальную автоматизированную систему, управляющую технологическим процессом. Она может также применяться и на других электроприводах горно-металлургической промышленности.

### *Основные цели создания АСУ ТП*

1) Обеспечение надежного и эффективного автоматизированного управления всем основным и вспомогательным оборудованием в нормальных, переходных, аварийных режимах работы;

2) Повышение надежности работы технологического и электротехнического оборудования, снижение риска аварий;

3) Обеспечение эксплуатационного персонала достоверной, достаточной и своевременной оперативной информацией о протекании технологического процесса, состоянии механического и электротехнического оборудования, состоянии технических средств управления, представленной в удобной для восприятия форме;

4) Обеспечение информацией для анализа, оптимизации работы оборудования и планирования его ремонтов;

5) Улучшение условий труда эксплуатационного персонала.

К локальной АСУ ТП технологическим процессом «Подъём» предъявляются как общие требования по ГОСТ 24.104-85 «Автоматизированные

системы управления. Общие требования», так и специальные требования, вытекающие из особенностей технологического процесса.

#### *Основные требования к АСУ ТП*

1) Предоставление достоверной информации в виде мнемосхем технологического процесса и в виде трендов как в реальном времени, так и архивной информации.

2) Оперативное диспетчерское управление технологическим процессом.

3) Ведение истории технологического процесса.

4) Информационная поддержка при расследовании нештатных ситуаций и при анализе общих тенденций и эксплуатационных характеристик объектов на длительных временных интервалах.

5) Формирование отчётной документации.

6) Автоматическое выявление предаварийных и аварийных ситуаций, гарантированное оповещение о них.

7) Соответствие применяемых программных и аппаратных интерфейсов, информационных протоколов, конструктивов открытым международным стандартам, обеспечивающее интеграцию широко распространенного на рынке аппаратного и программного обеспечения.

8) Масштабируемость, позволяющая легко и эффективно изменять конфигурацию для конкретных потребностей.

9) Физическая надежность - способность аппаратуры устойчиво функционировать в условиях окружающей среды промышленного цеха.

10) Программная надежность - способность ПО устойчиво функционировать при возникновении ситуаций, требующих реакции в заданное время.

11) Непрерывное диагностирование технических и программных средств.

12) Защита от ошибочных действий персонала по управлению оборудованием и несанкционированного изменения программного и алгоритмического обеспечения системы.

13) Простота ремонта и обслуживания.

Важной составляющей АСУ ТП является измерительное оборудование. Основной особенностью работы измерительного оборудования в составе АСУ ТП является реализация принципа системных измерений. Под системными измерениями понимаются измерения, реализующие следующие принципы:

- большое количество измеряемых величин;
- необходимость синхронизации во времени измерений этих величин;
- распределенный в пространстве объект измерения;
- необходимость передачи измерительной информации на значительные расстояния;
- необходимость комплексных обобщенных оценок;
- многообразие форм представления и регистрации результатов изме-

рений.

Кроме того, при работе в составе АСУ ТП измерительная система несет также информационные функции, т.е. обладает следующими особенностями:

- отбор информации непосредственно от объекта;
- конструктивная обособленность отдельных компонентов, и как следствие модульный способ построения;
- многоканальность;
- общее управление измерительными каналами;
- разнесенность элементов, а, следовательно, достаточно длинные линии связи;
- возможность автоматизации процесса измерений;
- обработка больших массивов информации.

Как следует из перечисленных выше особенностей, в приложении к технологическим процессам, следует, что измерительный прибор располагается непосредственно на объекте измерения (объектах технологического оборудования), а следовательно, подвержен влиянию внешних факторов, приводящих к возникновению дополнительных погрешностей. [1]

Погрешность, вносимая в результат измерения, непосредственно влияет на качество управления объектом и во многом определяет эффективность работы системы в целом. Некорректная оценка погрешности может привести к большим экономическим потерям. [1]

В связи с вышеизложенным к измерительному оборудованию АСУ ТП предъявляются следующие требования по ГОСТ 8.596-2002 «Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения»:

Метрологические характеристики АСУ ТП нормируют для каждого измерительного канала и при необходимости для комплексных и измерительных компонентов.

Для измерительных каналов АСУ ТП в проектной документации в качестве метрологических характеристик каждого измерительного канала допускается нормировать характеристики погрешности по ГОСТ 8.009 при нормальных условиях эксплуатации измерительных компонентов и при рабочих условиях эксплуатации, определяемых таким сочетанием влияющих величин, при которых характеристики погрешности измерительного канала имеют по абсолютной величине (по модулю) наибольшее значение. Рекомендуется также нормировать характеристики погрешностей измерительного канала для промежуточных сочетаний влияющих величин. Указанные значения характеристик погрешности измерительных каналов следует подтверждать их расчетом по метрологическим и другим характеристикам компонентов ИС, образующих измерительный канал.

При расчете характеристик погрешности измерительных каналов рекомендуется руководствоваться МИ 222-80 «Методика расчета метрологических характеристик ИК ИИС по метрологическим характеристикам компонентов», МИ 2168-91 «Государственная система обеспечения единства изме-

рений. ИИС. Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов по метрологическим характеристикам линейных аналоговых компонентов», а также другими действующими нормативными документами по расчету характеристик погрешности измерений общего (основополагающего) характера, и нормативными документами по видам измерений и областям применения средств измерений.

Для комплексных компонентов АСУ ТП следует нормировать метрологические характеристики по ГОСТ 8.009 с учетом ГОСТ Р 51841. Для измерительных компонентов АСУ ТП следует нормировать метрологические характеристики по ГОСТ 8.009 и ГОСТ 8.256 с учетом нормативных документов на конкретные виды средств измерений.

Нормированные метрологические характеристики комплексных и измерительных компонентов должны обеспечивать:

- расчет характеристик погрешности измерительных каналов АСУ ТП в рабочих условиях эксплуатации по нормированным метрологическим характеристикам компонентов;

- контроль указанных компонентов при испытаниях для целей утверждения типа и поверке на соответствие нормированным метрологическим характеристикам.

Для программ, реализуемых вычислительным компонентом АСУ ТП, если свойства этих программ не учтены при нормировании метрологических характеристик соответствующих измерительных компонентов, нормируют характеристики погрешности вычислений, обусловленной алгоритмом вычислений и его программной реализацией, а при необходимости также и другие характеристики с учетом особенностей вычислительного компонента, которые влияют на характеристики составляющей погрешности измерительного канала, вносимой программой обработки результатов измерений. Эксплуатационная (проектная) документация на АСУ ТП должна содержать такое описание алгоритма и реализующей его программы или метода имитационного моделирования, которое позволяло бы определить характеристики погрешности результата прямых, косвенных, совокупных или совместных измерений по характеристикам погрешности той части измерительных каналов АСУ ТП, которая предшествует вычислительному компоненту.

Для связующих компонентов АСУ ТП нормируют такие характеристики, которые либо обеспечивают пренебрежимо малое значение составляющей погрешности измерительного канала, вносимой связующим компонентом, либо позволяют определить значение этой составляющей [3].

Для создания системы отвечающей данным требованиям использованы промышленные компьютеры фирмы Advantech и промышленные контроллеры фирмы Fastwell. Главное преимущество PC-совместимых промышленных компьютеров и контроллеров связано с их открытостью, т. е. с возможностью применять в АСУ ТП самое современное оборудование и с очень широким его выбором.

*Структура АСУ ТП*, показанная на рисунке 1, разделена на два уров-

ня:

– верхний уровень реализует функции отображения информации, оперативного (дистанционного) или автоматизированного управления подъемной машиной;

– нижний уровень реализует функции сбора и предварительной обработки информации, протоколирования, архивации и передачи ее на верхний уровень.

Связь между верхним и нижним уровнем, а также внутри каждого уровня осуществляется по сети Ethernet с использованием стандартных протоколов TCP/IP и UDP.

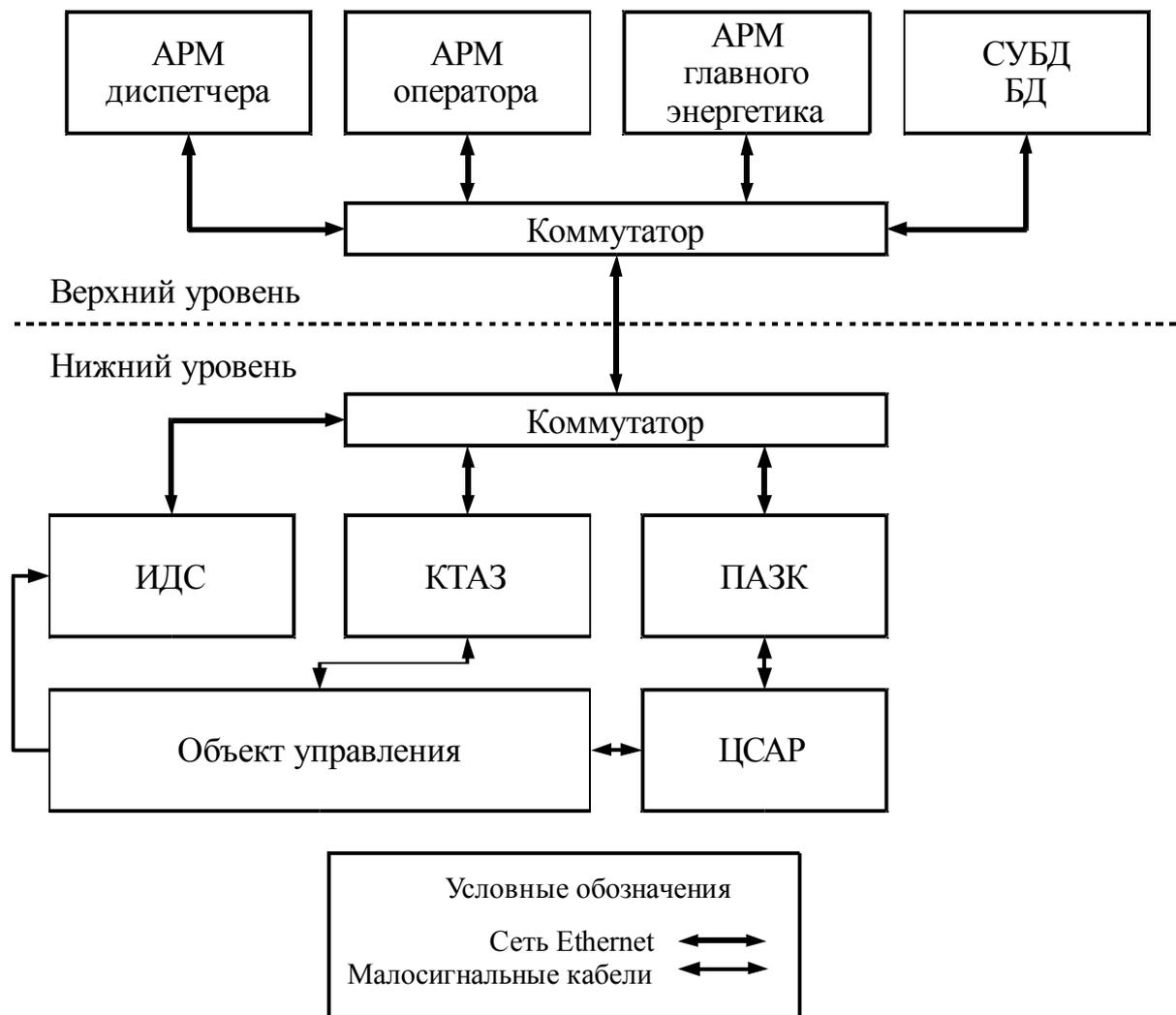


Рисунок 1 – Структурная схема АСУ ТП «Подъём»

АРМ – автоматизированное рабочее место.

ПАЗК – программируемый аппарат задания и контроля движения. ПАЗК осуществляет реализацию рабочей диаграммы скорости и защиту от превышения скорости подъемных сосудов.

КТАЗ – контроллер технологической автоматики и защит. КТАЗ осуществляет технологические защиты и блокировки.

ЦСАР – цифровая система автоматического регулирования. ЦСАР обеспечивает регулирование скорости, тока якоря и других технологических параметров электропривода.

СУБД – система управления базой данных. СУБД считывает информацию о процессе с ИДС, ПАЗК и КТАЗ и сохраняет ее в базе. По запросу от систем верхнего уровня СУБД предоставляет им архивные данные, которые используются для анализа трендов.

ИДС – информационно-диагностическая система.

Основой АСУ ТП является информационно-диагностическая система (ИДС).

Функции ИДС:

- приём измерительной информации от объекта управления и других подсистем нижнего уровня, её запоминание и долговременное хранение, упрощающее расследование аварийных ситуаций;

- получение из регистрируемых сигналов информации о: весе груза, нагрузке на двигатель, затратах энергии, времени и причинах простоя.

- формирование отчёта за смену, включающего вышеперечисленную информацию.

- сервер сети Ethernet, позволяющий просматривать с АРМ вышеперечисленную информацию в реальном времени, архивную информацию и отчеты.

При возникновении нештатной ситуации (например, срабатывании защит с наложением предохранительного тормоза), последний (а при необходимости и любые) из зарегистрированных процессов могут быть использованы для анализа и выявления причин аварии. Кроме этого ИДС можно использовать для регистрации переходных процессов при проведении различных специально подготовленных экспериментов, например, при наладочных работах или при настройке технологического процесса на заданные характеристики.

ИДС принимает сигналы измерительной информации как напрямую от объекта управления, так и от КТАЗ и ПАЗК, и производит их сравнение. Это позволяет проводить диагностику КТАЗ и ПАЗК, обнаруживать их неисправности, а также неисправности линий связи с объектом управления.

ИДС оснащается дисплеем и клавиатурой, и может также выполнять функции АРМ.

Функции АРМ:

- графическое отображение измерительной информации в реальном времени, а также архивной информации о течении всего технологического процесса в виде осциллограмм;

- отображение мнемосхемы технологического процесса в реальном времени;

- оперативное диспетчерское управление технологическим процессом;

- просмотр отчетной документации;
- оповещение оператора о предаварийных и аварийных ситуациях с помощью сообщений на дисплее и звуковых сигналов.

В качестве АРМ может быть использован IBM PC-совместимый промышленный либо офисный компьютер.

#### Библиографический список

1. Кузнецов Б.Ф. Стохастические модели и методы анализа информационно-измерительных систем АСУ ТП / Ангарск: Ангарская государственная техническая академия, 2007. – 180 с.: ил.
2. ГОСТ 24.104-85 «Автоматизированные системы управления. Общие требования».
3. ГОСТ 8.596-2002 «Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения».

УДК 62-83-52:681.52

## САМОНАСТРАИВАЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Островлянчик В.Ю., Модзелевский Д.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Силовые полупроводниковые преобразователи, питающиеся от переменного тока, какой бы структуры они не были, обязательно должны содержать блоки определения текущей фазы питающего переменного напряжения или другими словами синхронизации.

Существующие системы импульсно-фазового управления, в частности, применяемые в тиристорных преобразователях, используют синхронизацию и определение точки формирования импульсов основанную на жестко заданной последовательности преобразований. Эти преобразования используют представление о фиксированной частоте амплитуде и симметрии питающего напряжения. Отклонения от этих фиксированных параметров допускаются в очень небольших пределах.

Выходное напряжение преобразователя компенсируется за счет обратных связей в системе регулирования, быстродействие контура, содержащего преобразователь, специальным образом загружается, чтобы не было колебаний с частотой питающей сети или кратной ей частотами. Возникает шум, качание выходного напряжения с частотой пульсности схемы, несимметричная загрузка фаз и, следовательно, ухудшаются энергетические характеристики преобразователя.

В таком случае применение самонастраивающихся систем и отказ от жесткой синхронизации позволяет компенсировать указанные недостатки.

Самонастраивающаяся система автоматического управления производит приспособление к случайно изменяющимся условиям обеспечивается автоматическим изменением параметров настройки. Беспойсковые самонастраивающиеся системы имеют перед поисковыми системами определённое преимущество, обусловленное тем, что поиск оптимального состояния отнимает значительное время.

Прогнозирование точек синхронизации возможно при условии, что изменение в характере питающей сети происходит не мгновенно, а с течением времени, значительно превышающим период питающей сети. Это условие вполне соблюдается даже при работе в роторе асинхронного двигателя, так как скорость асинхронного двигателя не может измениться мгновенно и возможно использовать предыдущих несколько периодов питающего напряжения для прогнозирования следующих.

На рисунке 1 представлена блок схема одного канала предлагаемого беспойскового самонастраивающегося устройства синхронизации. Структура предполагает наличие наблюдателя, блока прогнозирования и выделенного в отдельный блок резонансного фильтра.

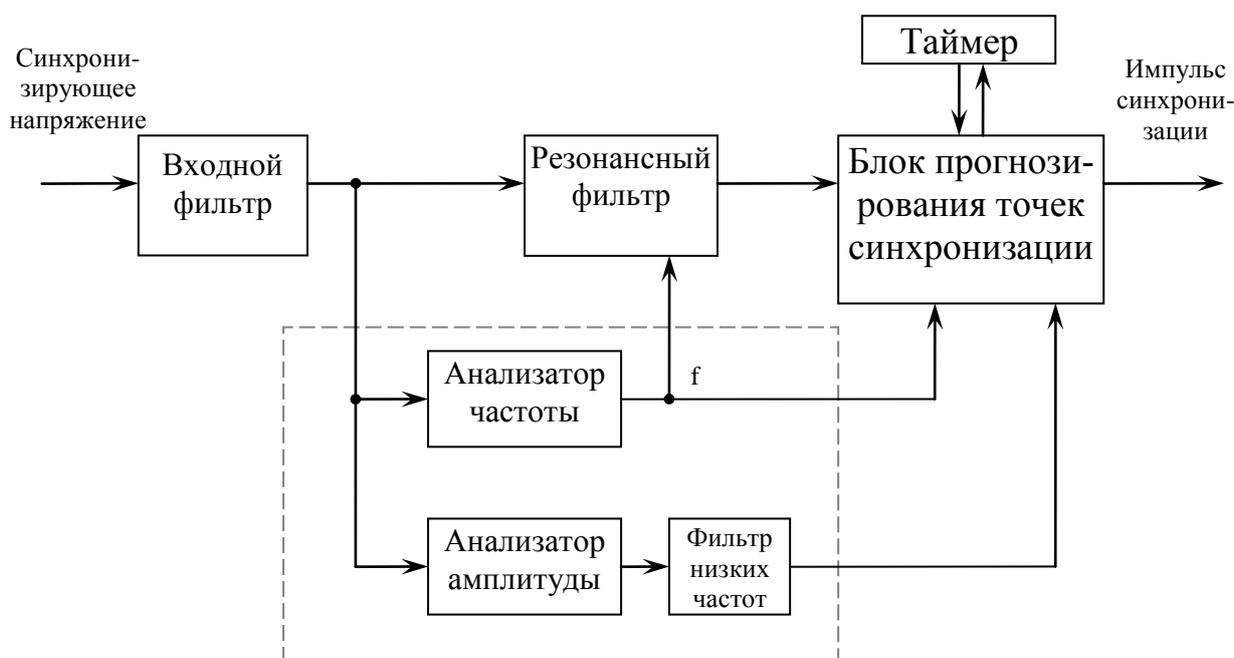


Рисунок 1 – Блок схема самонастраивающегося устройства синхронизации

Наблюдатель в данном случае имитирующий работу объекта управления или его части, из которого можно получить необходимые параметры для прогнозирования. В общем случае наблюдатель может получать информацию о сигнале после резонансного фильтра, но при этом необходимо принять меры против возможных колебаний за счет такой обратной связи. Также информация может быть получена другими косвенными измерениями, там где это возможно, например, из скорости асинхронного двигателя с фотоимпульсного датчика или тахогенератора, которая определяет частоту напряжения в роторе.

Резонансный фильтр выделяет из зашумленного сигнала синусоиду для получения четких точек перехода через ноль и определение фазы синхронизации. Резонансный фильтр в простом случае может быть представлен колебательным звеном с коэффициентом демпфирования  $\xi = 0,2..0,5$ . Постоянная времени звена изменяется в соответствии с частотой, определенной в анализаторе частоты, и должна организовывать точку резонанса в зоне заданной частоты. Резонансный фильтр будет вносить сдвиг фаз, который необходимо учитывать в блоке прогнозирования. Для колебательного звена и правильно подобранной частоты сдвиг фаз будет постоянным и равным  $\pi/2$ .

Блок прогнозирования точек синхронизации объединяет информацию от наблюдателя, прямого канала синхронизации и текущего значения таймера и вычисляет момент выдачи синхронизирующего сигнала. Далее этот сигнал поступает в систему формирования управляющих импульсов.

Компенсация асимметрии питающего напряжения обеспечивается применением отдельных каналов синхронизации для каждой фазы.

Применение описанного подхода позволяет независимо от частоты амплитуды и фазы получать синхронизированные управляющие импульсы, обеспечивающие симметричное выходное напряжение.

Придание алгоритмам управления свойств самонастройки существенно расширяет возможности управления. Описанный алгоритм реализован в разработанном в «НИИ АЭМ СибГИУ» цифровом устройстве управления автоматическим электроприводом подъемной машины.

Внедрение самонастраивающихся систем позволяет приблизиться к оптимальным режимам функционирования объектов, облегчает задачу унификации систем управления, сокращает время на испытания и наладку, снижает технологические требования на изготовление ряда узлов устройств управления, освобождает обслуживающий персонал от трудоёмких операций настройки.

УДК 62-83-76

## **АДАПТАЦИЯ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РУДНИЧНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ**

Островлянчик В.Ю. Борщинский М. Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В последние годы адаптация в автоматических системах управления электроприводами находит все более широкое применение. Реализация адаптивного управления позволяет автоматически перенастраивать параметры регуляторов для минимизации ошибок, вызванных изменением основных величин электропривода (передаточных коэффициентов преобразователей,

потока возбуждения двигателя, моментов инерции механизмов и т. д.).

В работе [1] предложена схема адаптивной электромеханической системы управления электроприводом рудничной подъемной установки. Адаптирующее воздействие осуществляется после формирования начальной стадии переходного процесса (момент трогания с места или после достижения контролируемой величины первого максимума). Применение интегрирующего звена в канале условной отрицательной обратной связи позволяет реализовать астатическое регулирование. Структурная схема этой системы управления с моделью объекта управления приведена на рисунке 1. Причем к объекту управления отнесена неизменяемая часть системы: электродвигатель и генератор постоянного тока.

ДЭ сформирован на основе датчиков напряжения генератора, тока электродвигателя и на рисунке 1 обведен пунктирной линией, описывается ДЭ следующим операторным уравнением:

$$E(p) = U(p) + U(p) \frac{T_{Mp}}{T_M T_{Эp}^2 + T_{Mp} + 1} - I_{Я} R_{Я} , \quad (1)$$

где  $E(p)$  – сигнал пропорциональный ЭДС;

$U(p)$ ,  $R_{Я}$  – напряжение генератора и сопротивление якорной цепи электродвигателя;

$T_M$ ,  $T_{Э}$  – электромеханическая и электромагнитная постоянные времени.

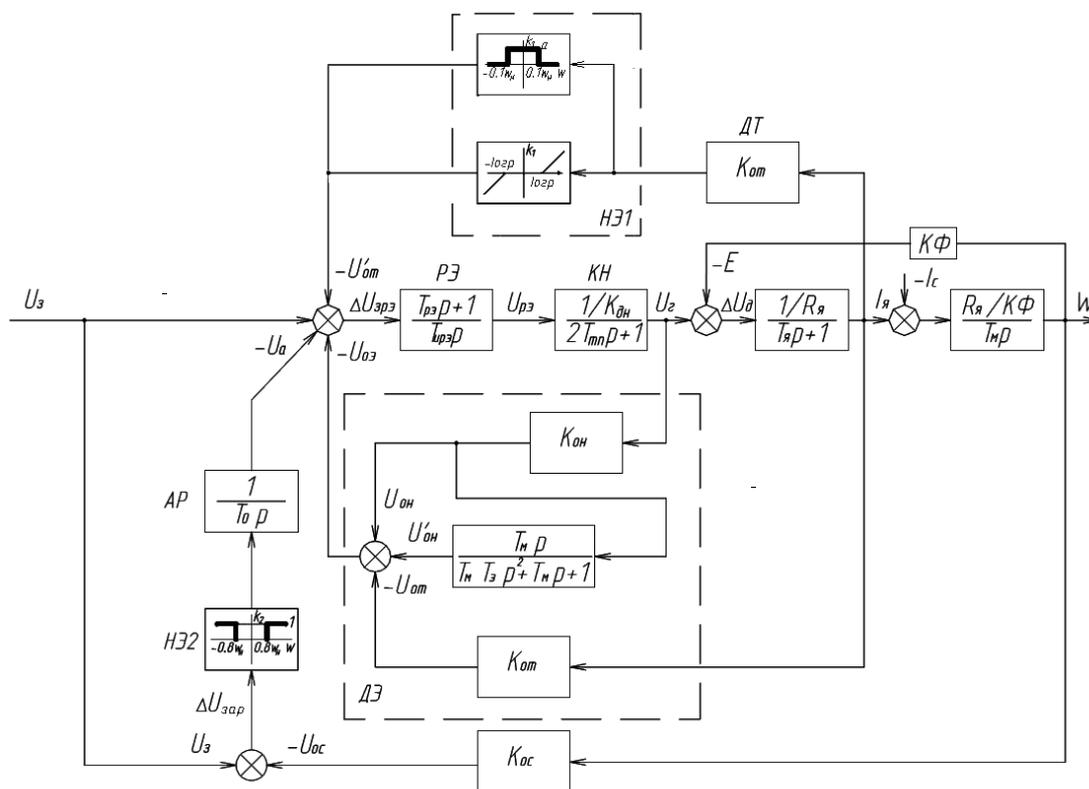


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления электропривода шахтной подъемной установки

Представленная адаптивная система является упрощенной разновидностью беспойсковых систем с возможностью сигнальной самонастройки (то есть без изменения параметров корректирующего звена). Так как адаптирующее воздействие осуществляется только в установившемся режиме, то присутствие эталонной модели в виде передаточной функции замкнутого контура ЭДС в канале  $U_3$  не требуется.

К недостаткам этих систем, относится то, что одним из основных условий работы является условие малых отклонений параметров объекта от начальных значений.

Исходя из этого предлагается схема датчика ЭДС с узлом идентификации коэффициента IR-компенсации, а также дополнительной связью по току, учитывающую изменение статического тока (рисунок 2). На схеме  $U_2$  – напряжение генератора,  $I_я$  – ток якорной цепи,  $\omega$  – угловая скорость вращения двигателя,  $H$  – глубина ствола,  $g$  – ускорение свободного падения,  $R_б$  – радиус барабана,  $p_k$  – удельная масса каната.

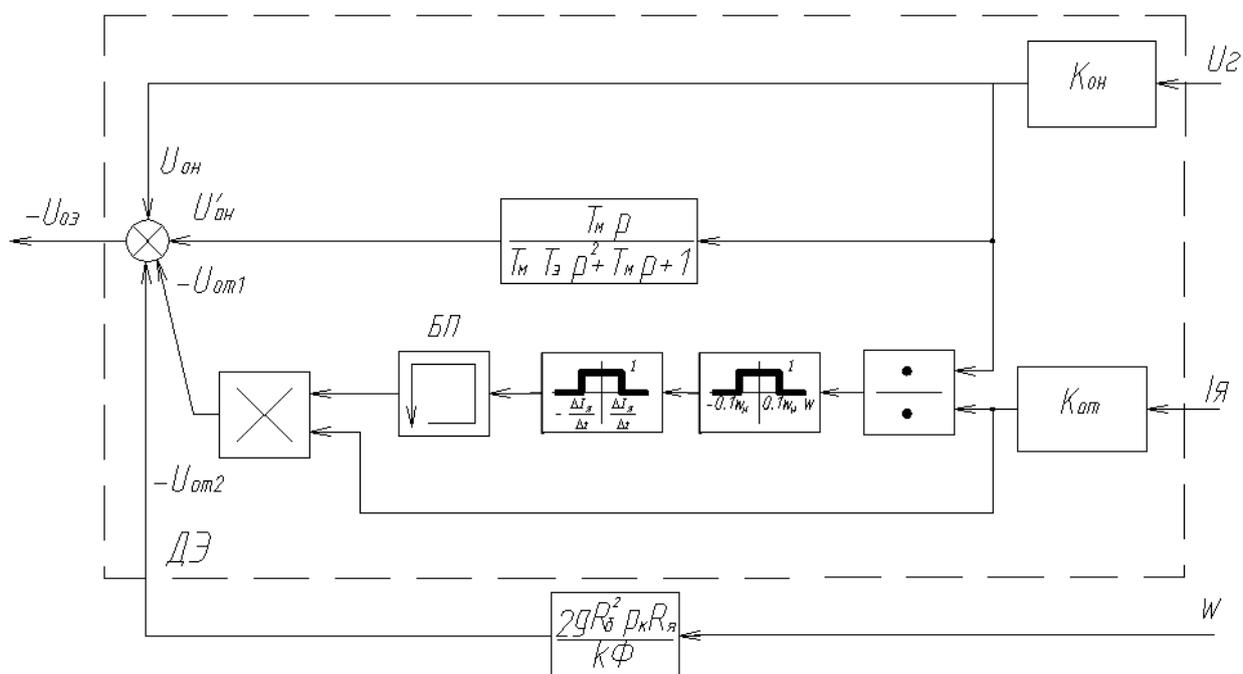


Рисунок 2 – Структурная схема датчика ЭДС

Одним из технологических режимов работы электропривода подъемной машины является режим растормаживания. При подаче команды на движение машина заторможена механическим тормозом. Чтобы после снятия тормоза не возникал «обратный ход» подъемной машины, необходимо при заторможенной машине в цепи якорей создать ток, обеспечивающий момент на валу двигателя, равный статическому моменту при подъеме грузеного скипа.

Заторможенное состояние подъемной машины эквивалентно условию

$T_m = \infty$ . Угловая скорость электродвигателя при этом равна нулю и объект становится апериодическим звеном с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{1/R_{я}}{T_{\vartheta}p + 1} \quad (2)$$

Для регулирования тока якоря двигателя при наложенном тормозе регулятор ЭДС преобразуется в регулятор тока за счет подключения обратной связи по току исходя из условия:

$$U'_{от} = K_1 \cdot K_{от} \cdot I_{я},$$

$$K_1 = \begin{cases} 0, & |\omega| < 0,1 \cdot \omega_n, \\ a, & |\omega| > 0,1 \cdot \omega_n \end{cases} \quad (3)$$

Тогда структурная схема системы автоматического регулирования ЭДС двигателя преобразуется в структурную схему системы автоматического регулирования тока якоря.

На рисунке 2 показано, что в момент достижения тока якоря установившегося значения происходит определение значения коэффициента IR-компенсации. Значение коэффициента сохраняется в блоке памяти (БП) до следующего цикла.

Сопротивление якорной цепи определяется из следующего соотношения:

$$R_{я} = \frac{U_{Г}(p)}{I_{я}(p)(T_{\vartheta}p + 1)}, \quad (4)$$

В приращении тока

$$R_{я} = \frac{U_{Г}(t)}{\frac{dI_{я}(t)}{dt}T_{\vartheta} + I_{я}} \approx \frac{U_{Г}}{\frac{\Delta I_{я}}{\Delta t}T_{\vartheta} + I_{я}}.$$

Коэффициент IR-компенсации после окончания переходного процесса в якорной цепи

$$K_{R_{я}} = \frac{U_{Г}K_{ДН}}{I_{я}K_{ДТ}}. \quad (5)$$

Определение коэффициента IR-компенсации на каждом цикле работы подъемной установки позволяет учесть изменение сопротивления якорной цепи в зависимости от температуры и перенастроить датчик ЭДС, что повышает точность управления в динамике.

Для неуравновешенных подъемных установок характерно линейное изменение статического тока за счет перераспределения масс приведенных к валу двигателя. При подъеме скипа (клетки) вес поднимающейся стороны за

счет выборки каната уменьшается, а опускающейся возрастает. В системах регулирования по ЭДС поддерживается постоянство заданного значения, поэтому для сохранения равенства соотношения

$$E = U - I_{\text{я}} R_{\text{я}} \quad (6)$$

при уменьшении тока якоря уменьшается напряжение генератора.

Закон изменения статического тока для неуравновешенных подъемных установок описывается уравнением в функции пути [3]

$$I_c = \frac{gR\delta}{k\Phi} (1,15Q_0 + p_{\kappa}(H - 2h)), \quad (7)$$

где  $Q_0$  – вес груза;

$h$  – путь.

Из выражения видно, что независимо от нагрузки статический ток будет меняться в функции пути.

Подставив выражение (7) при  $Q_0 = 0$  в (6) получим уравнение ЭДС для холостого хода

$$E = U - I_{\text{дин}} R_{\text{я}} - \frac{R_{\text{б}} R_{\text{я}}}{k\Phi} g p_{\kappa} H - 2 \frac{R_{\text{б}}^2 R_{\text{я}}}{k\Phi} g p_{\kappa} \frac{\omega}{p}.$$

Для компенсации влияния  $2 \frac{R_{\text{б}}^2 R_{\text{я}}}{k\Phi} g p_{\kappa} \frac{\omega}{p}$  в правой части уравнения необходимо настолько же уменьшать ЭДС в левой. Структурная схема датчика ЭДС, компенсирующего влияние переменного статического момента показана на рисунке 2.

В результате работы данной схемы датчика ЭДС поддерживается постоянный уровень напряжения в установившемся режиме, что приводит к росту скорости и повышению производительности подъемной установки в целом.

#### Библиографический список

1. Островляничик В.Ю. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства. – Томск, изд-во ТГУ, 1997. – 359 с.
2. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат. 1982. – 392 с.
3. Католиков В. Е., Динкель А. Д. Динамические режимы рудничного подъема. – М.: Недра, 1995. – 448 с.

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ШАХТНОЙ ПОДЪЁМНОЙ УСТАНОВКИ

ОСТРОВЛЯНЧИК В.Ю., КУБАРЕВ В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Как указано в работе [1] возможны две методики построения алгоритмов для систем управления. Первая методика основана на том, что известен алгоритм функционирования объекта управления и требуется по нему синтезировать алгоритм логического управления, обеспечивающий заданное поведение объекта.

При использовании второй методики, учитывая информацию о состоянии (положении) объекта управления, строится алгоритм, который обеспечивает требуемое функционирование объекта.

Можно сказать, что проектирование в первой из описанных методик направлено от объекта управления к вычислителю, а во второй – от вычислителя к объекту. При этом первый метод базируется на понятии «состояние», а второй – на понятии «событие» («входное воздействие»). Но только учёт, как первого, так и второго метода проектирования, то есть учёт, как состояний объекта, так и управляющих воздействий воспринимаемых и генерируемых им позволяет построить качественный алгоритм управления.

Покажем применение программирования с выделением состояний на примере системы управления разгоном для подъёмной установки переменного тока с фазным ротором.

Система управления разгоном обеспечивает плавный разгон двигателя в функции тока, скорости и времени, путем последовательного включения контакторов ускорения, на основании значения следующих переменных: ток статора ( $I_{ст}$ ), скорость двигателя ( $n_6$ ). Контроль скорости, предусмотрен для того, чтобы при скорости близкой к номинальной, независимо от того какая в данный момент была включена ступень, перейти сразу на восьмую, замкнув накоротко фазы ротора. Это сделано для обеспечения более экономичного режима работы двигателей и более быстрого их разгона.

При составлении схемы связей автомата необходимо учитывать, что модель любой системы логического управления можно представить в виде совокупности булевых формул:



A – программные автоматы;  
 I – входы автоматов;  
 Q – управляющие выходы;  
 Z – информационные выходы.

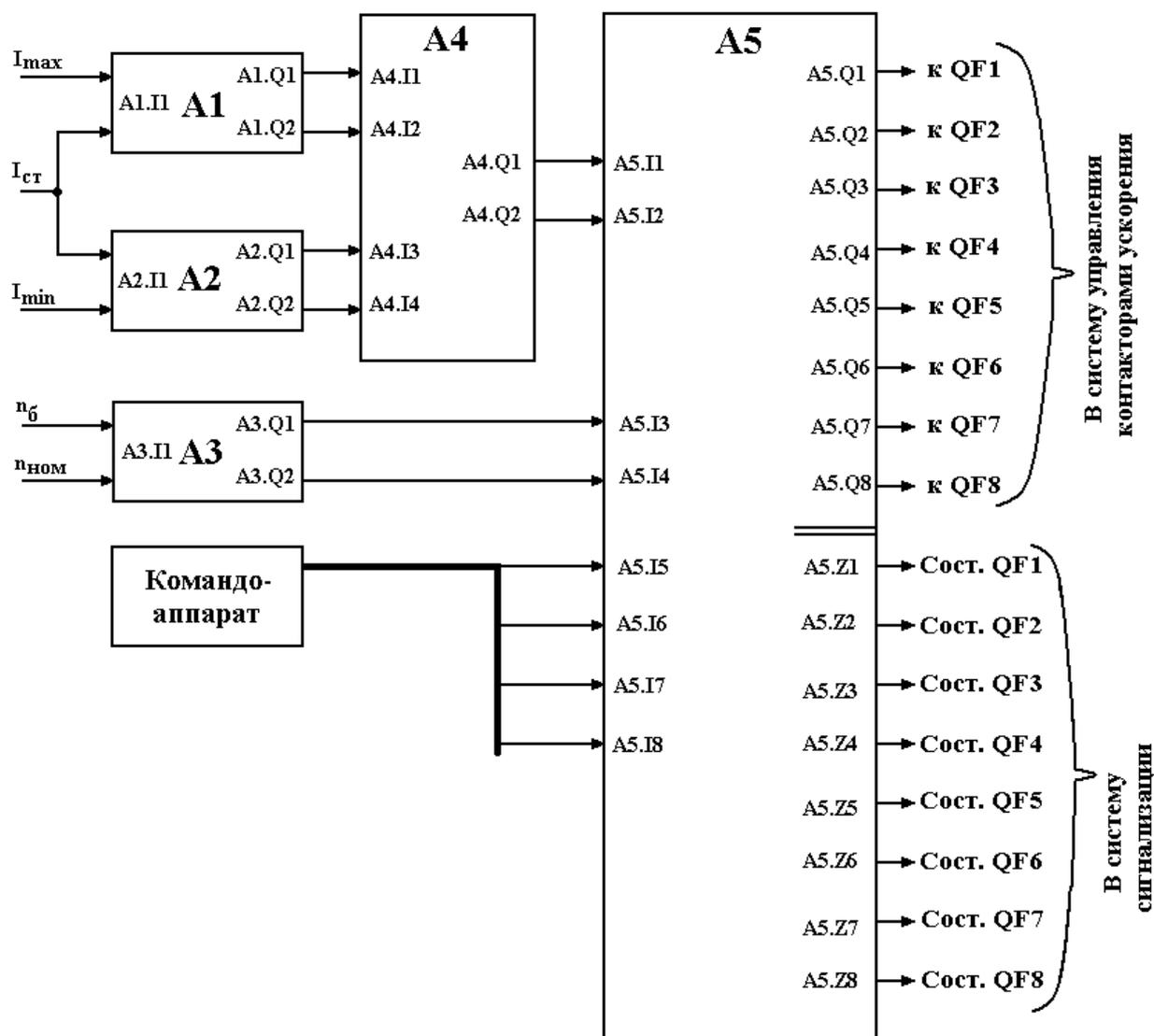


Рисунок 1 – Схема связей автоматов проектируемой системы

Необходимо отметить, что при проектировании схемы связей автоматов использовалась нотация, предложенная в [2], для использования при проектировании автоматных систем.

На основании рисунка 1 и описанной выше логики работы системы необходимо составим граф-схемы, по отдельности для каждого автомата.

Для автоматов A1 и A3, срабатывающих при значении входного сигнала больше значения граничного параметра, граф-схема приведена на рисунке 2.

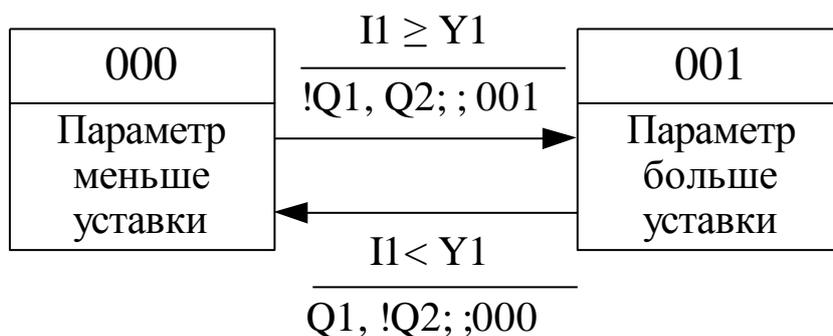


Рисунок 2 – Граф-схема простейшего автомата «Больше»

Для автомата А2, срабатывающего при значении входного сигнала меньше значения граничного параметра, граф-схема приведена на рисунке 3.

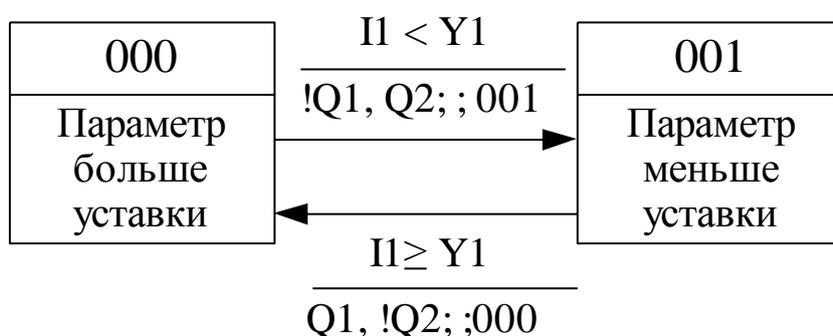


Рисунок 3 – Граф-схема простейшего автомата «Меньше»

Для автомата А4, срабатывающего при определенном сочетании входных сигналов а именно – при значении входов I2 и I4 = 1, при условии что входы I1 и I3 = 0, граф-схема приведена на рисунке 4.

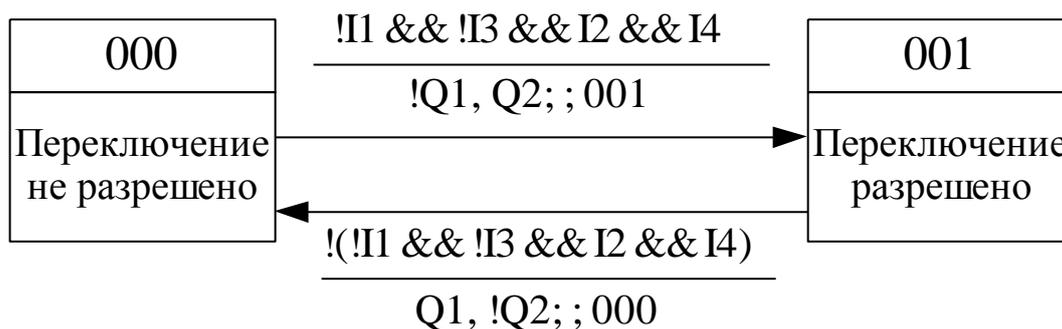


Рисунок 4 – Граф-схема автомата А4

Для автомата А5, основного автомата обеспечивающего последовательно переключение контакторов в зависимости от сигнала разрешения переключения (I2) и сигналов о положении командоаппарата (I5–I8), граф-схема приведена на рисунке 5.

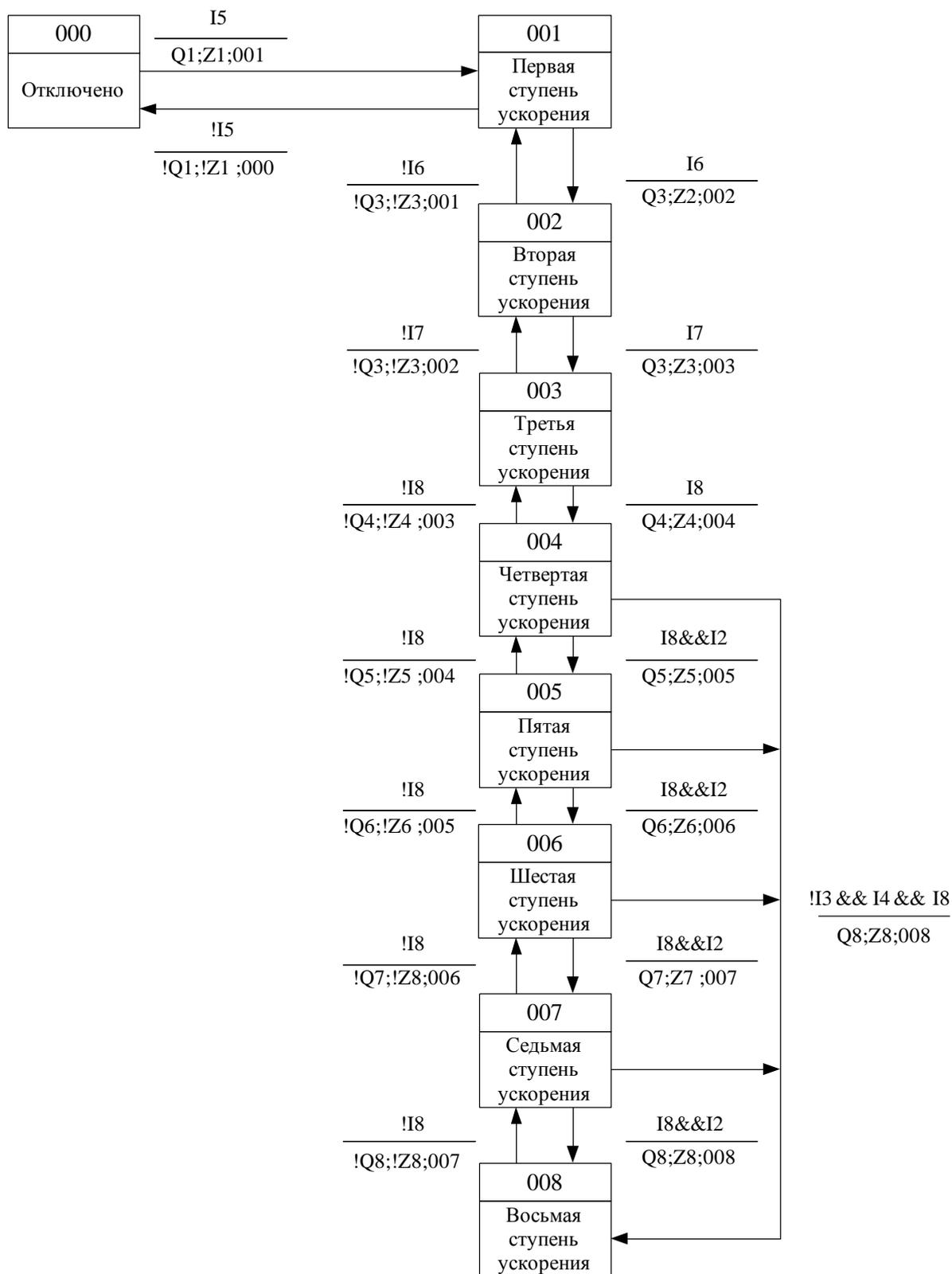


Рисунок 5 – Граф-схема переходов автомата А5

После составления граф-схем основных автоматов, помощью комплекса Quick Prog, для граф-схем представленных на рисунках с первого по четвертый произведем перевод автоматного описания в код на языке Си.

```

// Описание автоматов
// A1 – Автомат определения того, что ток больше минимального
// установленного значения
// Автомат A1
void A1 (double I1, double Y1, bool *Q1, bool, *Q2)
{
switch(N)
{
static char N;
case 000:
    if(I1 > Y1) {Q0=0; Q1=1; N=001;}
break;
case 001:
    if(I1 <= Y1) {Q0=1; Q1=0; N=000;}
break;
}
}

```

В заключении можно сказать, что данный подход успешно используется при разработке программно-аппаратных комплексов в НИИ АИЭМ СибГИУ, например Устройства управления, контроля движения и технологических защит шахтной подъемной установки на которое в конце 2007 г. был получен патент [3].

#### Библиографический список

1. Шалыто А.А. SWITCH-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления [Текст]. – СПб.: Наука. – 628 с.
2. Вавилов К.В. Программирование за... 1 (одну) минуту [Текст]. // Компьютер Price. – 2002. – № 31. – С. 288 – 293.
3. Патент Российской Федерации RU 2 314 990 C2 // Островлянчик В.Ю., Стексов А.М., Кубарев В.А. Опубликовано 20.01.2008 бюллетень № 2.

УДК 007(075.8)

## **МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТИРУЮЩИХ ВЕКТОРОВ, ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПАРАМЕТРАМ СИСТЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Кунинин П.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время широко применяются векторные методы управления асинхронными электродвигателями, которые базируются на двухфазной

обобщенной машине и результирующем векторе [1]. Причем сначала вводится понятие результирующего вектора и теория обобщенной машины, а затем строится теория эквивалентного перехода от двух фазной машины к трехфазной.

Оригинальная идея предложена в работе [2]. В этой работе трехфазная модель асинхронного электродвигателя преобразуется в однофазную с вращающимся магнитным полем. К существенному недостатку модели относится то, что предложенная модель оперирует модулем, который не может принимать отрицательные значения, а это свидетельствует о том, что результирующее поле не круговое, а пульсирующее, что ставит перед необходимостью проведения дополнительных исследований.

В работе [2] получены следующие соотношения для магнитных потоков фаз статора:

$$\begin{aligned}\phi_{1A}(t) &= \frac{w}{k_{и}} I_1(M) \sin(\omega t - \varphi), \\ \phi_{1B}(t) &= \frac{w}{k_{и}} I_1(M) \sin(\omega t - \varphi - 2\pi/3), \\ \phi_{1C}(t) &= \frac{w}{k_{и}} I_1(M) \sin(\omega t - \varphi - 4\pi/3),\end{aligned}\quad (1)$$

где  $w$  – число витков обмотки статора,  $k_{и} = \left( \frac{\delta}{S_{\delta}} + \frac{l_c}{\mu_c S_c} \right) \frac{1}{\mu_0}$ ,  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ ;

$\mu_c$  – соответственно магнитная постоянная и магнитная проницаемость стали;

$S_{\delta}, S_c$  – соответственно площади сечений зазора и стали;

$\omega, \varphi$  – угловая частота и начальная фаза магнитного потока.

Из уравнений (1) следует, что магнитный поток каждой фазы во времени изменяется по закону синуса, причем амплитуда магнитного потока  $\frac{w}{k_{и}} I_1(M)$  зависит от момента нагрузки  $M$  электродвигателя.

После оригинальных преобразований автор работы [2] получает следующие соотношения:

$$\phi_1(\alpha, t) = \frac{w}{k_{и}} I_1(M) \left[ \sin(\beta) \sin(\alpha) + \sin\left(\beta - \frac{2\pi}{3}\right) \sin\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\beta - \frac{4\pi}{3}\right) \sin\left(\alpha - \frac{4\pi}{3}\right) \right], \quad (2)$$

$$\phi_1(\alpha, t) = 3w / (2k_{и}) I_1(M), \quad (3)$$

где  $\beta = \omega t - \varphi$ .

Далее автор работы [2] переменную  $\phi_1(\alpha, t)$  рассматривает как модуль. Но переменная  $\phi_1(\alpha, t)$  зависит от момент электродвигателя  $M$ , кото-

рый может изменять направление, поэтому изменяет направление и переменная  $\phi_1(\alpha, t)$ , следовательно, переменную  $\phi_1(\alpha, t)$  можно рассматривать вектор.

Для определения скорости вращения  $\alpha$  вектора  $\phi_1(\alpha, t)$  воспользуемся уравнением (3), которое разрешим относительно  $\alpha$

$$\alpha = \omega_0 t - \phi_1 \quad (4)$$

и продифференцируем по времени

$$d\alpha / dt = \omega_0, \quad (5)$$

откуда следует, что конец модуля в пространстве воздушного зазора вращается с угловой скоростью  $\omega_0$ , равной частоте питающего напряжения.

На основании законов Кирхгофа запишем дифференциальные уравнения электромагнитных процессов в статорных цепях электродвигателя:

$$\begin{aligned} w \frac{d\phi_{1A}(t)}{dt} &= U_1(t) \sin(\omega_0 t) - r_1 i_{1A}(t), \\ w \frac{d\phi_{1B}(t)}{dt} &= U_1(t) \sin(\omega_0 t - 2\pi/3) - r_1 i_{1B}(t), \\ w \frac{d\phi_{1C}(t)}{dt} &= U_1(t) \sin(\omega_0 t - 4\pi/3) - r_1 i_{1C}(t), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $w$  – число витков фазной обмотки статора;

$\phi_{1A}$ ,  $\phi_{1B}$ ,  $\phi_{1C}$  – основной магнитный поток, созданный токами обмоток соответственно фаз А, В и С и токами стержней беличьей клетки;

$\omega_0 = 2\pi f$  – угловая частота питающей сети в радианах;

$f$  – частота питающей сети, Гц;

$t$  – время;

$U_1(t)$  – текущие амплитудные значения напряжений фаз статора;

$i_{1A}$ ,  $i_{1B}$  и  $i_{1C}$  – мгновенные значения токов обмоток фаз А, В и С статора;

$r_1$  – активное сопротивление обмотки фазы статора.

В дифференциальные уравнения (6) подставим значения магнитных потоков из (1), в результате после очевидных преобразований получим следующую систему дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} T_\vartheta \frac{dI_1(M) \sin(\beta)}{dt} &= \frac{U_1(t)}{r_1} \sin(\omega_0 t) - I_1(M) \sin(\beta), \\ T_\vartheta \frac{dI_1(M) \sin(\beta - 2\pi/3)}{dt} &= \frac{U_1(t)}{r_1} \sin(\omega_0 t - 2\pi/3) - I_1(M) \sin(\beta - 2\pi/3), \end{aligned} \quad (7)$$

$$T_{\vartheta} \frac{dI_1(M) \sin(\beta - 4\pi/3)}{dt} = \frac{U_1(t)}{r_1} \sin(\omega_0 t - 4\pi/3) - I_1(M) \sin(\beta - 4\pi/3),$$

где  $\beta = \omega t - \varphi_i$ ,

$$T_{\vartheta} = \frac{w^2}{r_1 k_n} = \frac{1}{2\pi f_0 s_k} \quad (8)$$

Первое уравнение из системы (7) умножим на  $\sin(\alpha)$ , второе – на  $\sin(\alpha - 2\pi/3)$  и третье – на  $\sin(\alpha - 4\pi/3)$ . Поскольку функции  $\sin(\alpha)$ ,  $\sin(\alpha - 2\pi/3)$  и  $\sin(\alpha - 4\pi/3)$  от времени не зависят, в левых частях уравнений (7) введем их под знак дифференцирования. После этого выполним суммирование левых и правых частей. В результате получим следующее соотношение:

$$T_{\vartheta} \frac{dI_1(\alpha, \beta)}{dt} = \frac{U_1(\alpha, t)}{r_1} - I_1(\alpha, \beta), \quad (9)$$

в котором  $\phi_1(\alpha, \beta)$ ,  $U_1(\alpha, t)$  и  $r_1 I_1(\alpha, \beta)$  отображают следующие результаты

$$I_1(\alpha, \beta) = I_1(M) \left[ \sin(\beta) \sin(\alpha) + \sin\left(\beta - \frac{2\pi}{3}\right) \sin\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\beta - \frac{4\pi}{3}\right) \sin\left(\alpha - \frac{4\pi}{3}\right) \right],$$

$$\frac{U_1(\alpha, t)}{r_1} = \frac{U_1(t)}{r_1} \left[ \sin(\omega_0 t) \sin(\alpha) + \sin\left(\omega_0 t - \frac{2\pi}{3}\right) \sin\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\omega_0 t - \frac{4\pi}{3}\right) \sin\left(\alpha - \frac{4\pi}{3}\right) \right],$$

Выражения в прямых скобках правых частей последних равенств, а также уравнения (2) полностью совпадают, отличаются эти соотношения только наименованием переменных и аргументов.

$$\phi_1(\alpha, t) = 3w / (2k_n) I_1(M). \quad (10)$$

В равенстве (10) правая часть представляет собой выражение перед прямыми скобками правой части уравнения (2) умноженное на 2/3. По аналогии запишем

$$I_1(\alpha, \beta) = (2/3) I_1(M),$$

$$U_1(\alpha, t) = \frac{2U_1(t)}{3}.$$

Подставляя значения  $I_1(\alpha, \beta)$  и  $U_1(\alpha, t)$  в (9) после очевидных преобразований получим следующее обобщенное дифференциальное уравнение электромагнитной цепи электродвигателя, эквивалентного однофазного электродвигателя с вращающимся магнитным полем:

$$T_{\vartheta} \frac{dI_1(M)}{dt} = \frac{U_1(t)}{r_1} - I_1(M). \quad (11)$$

Дифференциальное уравнение имеет ту особенность, что входящие в

него переменные  $U_1(t)$  и  $I_1(M)$  представляют собой результирующие модули переменных  $U_A, U_B, U_C, I_A, I_B$  и  $I_C$  обмотки статора соответственно фаз А, В и С трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Выполняя аналогичные преобразования над другими переменными в других соотношениях можно построить полную модель электродвигателя.

Согласно [3] многие механические подсистема электропривода достаточно точно описываются двухмассовой моделью «ротор асинхронного короткозамкнутого электродвигателя – исполнительный механизм».

Однако непосредственный контроль момента, развиваемого электродвигателем, является проблематичной задачей из-за отсутствия надежных и достаточно точных датчиков момента. В тоже время не возникает проблем с измерением тока. Промышленностью выпускается ряд простых датчиков переменного тока обеспечивающих точность до долей процента и потенциальное отделение силовых цепей от измерительных цепей.

Задача осложняется тем, что зависимость тока асинхронного электродвигателя от момента сопротивления резанию нелинейная и к тому же момент непосредственно зависит не от тока обмоток статора, а от тока ротора, который, в свою очередь, взаимосвязан со скольжением.

Из работы [1] имеем следующее выражение, определяющее зависимость момента асинхронного электродвигателя  $M$  от тока ротора приведенного к статору:

$$M = \frac{pm_1R'_2}{\omega_1s} (I'_2)^2,$$

где  $R'_2$  – активное сопротивление фазной обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

$m_1$  – число фаз статора;

$I'_2$  – ток ротора, приведенный к обмотке статора.

Учитывая, что намагничивающая составляющая тока статора электродвигателя вращающего момента не создает, то в соответствии с работой [79] примем, что ток беличьей клетки ротора, приведенный к обмотке статора  $I'_2$  равен току статора  $I'_2 = I_1$ . В этом случае последнее соотношение примет вид:

$$M = \frac{pm_1R'_2}{\omega_1s} (I_1)^2, \quad (12)$$

В основу математической модели двухмассовой механической подсистемы системы «ротор асинхронного электродвигателя – исполнительный орган» электромеханической системы электропривода резания примем известную систему уравнений [3]:

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M - c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2); \quad (13)$$

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) - M_C, \quad (14)$$

где  $J_1$  – момент инерции ротора электродвигателя,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$J_2$  – приведенный к ротору электродвигателя момент инерции исполнительного органа,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$M$  – вращающий момент на валу асинхронного электродвигателя,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$M_C$  – момент сил сопротивления горной породы резанию,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$c_{12}$  – коэффициент жесткости передаточного механизма,  $\text{Н} \cdot \text{м}/\text{рад}$ ;

$\varphi_1$  – угол поворота ротора электродвигателя,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\varphi_2$  – приведенный к ротору электродвигателя угол поворота исполнительного механизма,  $\text{рад}$ ;

$\beta_{12}$  – коэффициент, учитывающий силы внутреннего вязкого трения (коэффициент диссипативных потерь), пропорциональный относительной скорости вращающихся масс,  $\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ ;

$\omega_1$  – текущее значение угловой скорости вращения электродвигателя;

$\omega_2$  – угловая скорость вращения коронки исполнительного механизма.

В уравнениях (13) и (14) обозначим:

$$c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) = M_{12} \quad (15)$$

и приведем их к виду:

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{J_1}(M - M_{12}), \quad (16)$$

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{J_2}(M_{12} - M_C). \quad (17)$$

Продифференцируем выражение (15) и учитывая то, что  $d\varphi/dt = \omega$ , получим следующее дифференциальное уравнение

$$\frac{dM_{12}}{dt} = \beta_{12} \frac{d(\omega_1 - \omega_2)}{dt} + c_{12}(\omega_1 - \omega_2). \quad (18)$$

Уравнения (11), (12), ..., (18) образуют математическую модель системы «асинхронный электродвигатель – исполнительный механизм», в которую входит модель электромагнитной подсистемы (11), (12) и механической подсистемы «ротор асинхронного электродвигателя – исполнительный механизм», представленный дифференциальными уравнениями (13), ..., (18).

Учитывая, что составляющая тока статора, связанная с намагничивающей составляющей магнитного поля статора электродвигателя вращающего момента не создает, в соответствии с работой [3] примем, что ток беличьей клетки ротора  $I_2'$ , приведенный к обмотке статора равен току статора, умноженному на скольжение.

К уравнениям (11), (12), ..., (18) применим преобразование Лапласа и

запишем соответствующие им передаточные функции, которые после некоторых преобразований представить в следующем виде:

$$\frac{I_1(p)}{U_1(p)} = \frac{1/R_1}{T_\sigma p + 1}, \quad (19)$$

$$M = \frac{pm_1 R'_2}{\omega_s} (I_1)^2, \quad (20)$$

$$\frac{\omega_1(p)}{M(p) - M_{12}(p)} = \frac{1}{J_1 p}, \quad (21)$$

$$\frac{M_{12}(p)}{\omega_1(p) - \omega_2(p)} = \frac{\beta_{12} p + c_{12}}{p}, \quad (22)$$

$$\frac{\omega_2(p)}{M_{12}(p) - M_c(p)} = \frac{1}{J_2 p}. \quad (23)$$

Соотношения (19), ..., (23) имеют ту особенность, что все переменные, входящие в них представлены векторами, которые характеризуются величиной и направлением, так что трехфазный асинхронный электродвигатель представлен однофазной векторной моделью. Но направления векторов отображаются знаками, поэтому векторы, характеризуемые величиной и знаком можно рассматривать как величины, эквивалентные параметрам двигателя постоянного тока. Соответствующая структурная схема двухмассовой электромеханической системы «асинхронный электродвигатель – исполнительный механизм» приведена на рисунке 1.

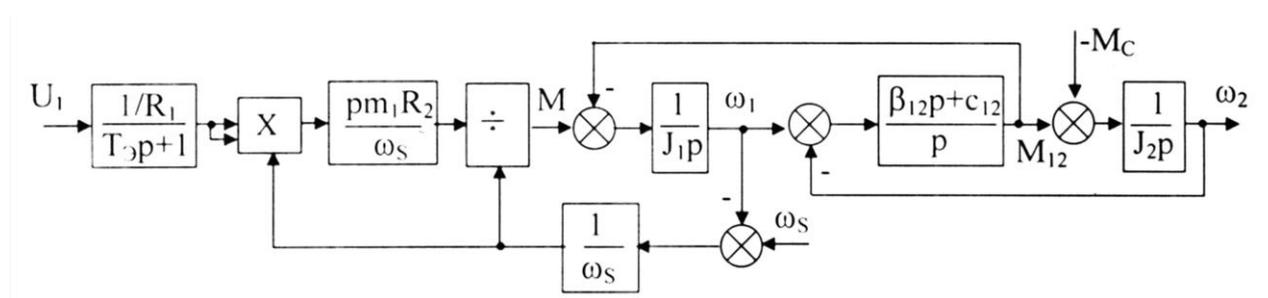


Рисунок 1 – Структурная схема нелинейной двухмассовой модели электропривода

Выводы: 1. Предложена усовершенствованная модель двухмассовой механической подсистемы «ротор асинхронного электродвигателя – исполнительный механизм»

2. Модель подсистемы «ротор асинхронного электродвигателя – исполнительный механизм» позволяют синтезировать регуляторы разрабатываемой системы управления на основе метода синтеза регуляторов в системах управления электродвигателей постоянного тока.

3. Материал статьи нельзя считать окончательным и поэтому статья

имеет дискуссионный характер.

#### Библиографический список

1. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
2. Мешина Ю.А. Однофазная модель электромагнитных процессов трехфазного асинхронного электродвигателя [Текст]. Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов; сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2008. – С. 215 – 220.
3. Чиликин М.Г. Теория автоматизированного электропривода / М.Г. Чиликин, В.И. Ключев, А.С. Сандлер. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.

УДК 004

## О РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТБОРОМ ПЕРСОНАЛА

БОНДАРЬ Н.Ф., ЛЕВКИНА О. М.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Постановка задачи

*Дано:*

- 1) Множество  $\{V_N\}$  выпускников учебных заведений высшего и среднего профессионального образования ( $V_N$ ).
- 2) Критерии для оценки личностных компетенций.
- 3) Перечень компетенций  $\{X_{MN} | M = \overline{1,4}; N = \overline{1,n}\}$ .
  - ключевые компетенции (личностные качества) -  $X_1 = \{X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}\}$ ;
  - базовые (теоретические знания) -  $X_2 = \{X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n}\}$ ;
  - специальные компетенции (профессиональные знания) -  $X_3 = \{X_{31}, X_{32}, \dots, X_{3n}\}$ ;
  - прочие компетенции -  $X_4 = \{X_{41}, X_{42}, \dots, X_{4n}\}$ .
- 4) Бальные оценки компетенций выпускников.
- 5) Нормативные документы:
  - «Положение о подборе и отборе персонала»;
  - «Положение о порядке комплектования квалифицированными кадрами вновь вводимых в эксплуатацию объектов»;
  - «Положение о системе взаимодействия с профессиональными образовательными учреждениями»;
  - «Методика рейтингового отбора»;
  - «Методика проведения заявочной кампании на персонал».
- 6) Ограничения на количество рабочих мест и на профессии.

7) Ограничения на бальную оценку компетенций:

$$Y_{ijk}^{\min} < Y_{ijk} < Y_{ijk}^{\max} \quad (1)$$

где  $Y_{ijk}$  – суммарная бальная оценка  $i$ -го выпускника  $j$ -ой профессии,  $k$ -ой должности;

$Y_{ijk}^{\min}$  – нижний предел суммарной бальной оценки  $i$ -го выпускника  $j$ -ой профессии,  $k$ -ой должности;

$Y_{ijk}^{\max}$  – верхний предел суммарной бальной оценки  $i$ -го выпускника  $j$ -ой профессии,  $k$ -ой должности.

*Требуется* разработать автоматизированную систему подбора претендентов для конкретных рабочих мест с целью снижения затрат времени на процедуру подбора и улучшения качества подбора и отбора персонала.

Целью такой системы является формирование и развитие компетенций рабочих, специалистов, руководителей способных обеспечить выпуск продукции такого качества, которая своими свойствами максимально отвечает требованиям потребителей и позволяет предприятию удерживать и расширять своё присутствие на рынке выпускаемой продукции. Соответственно этому, стратегическая цель данной системы управления состоит в реализации глобальной цели предприятия на основе эффективного использования профессиональных компетенций рабочих.

Система контролирует имеющиеся и приобретаемые компетенции на всех этапах трудовой жизни рабочего, специалиста (на предприятии): найм, профориентация и адаптация, развитие, ротация, профессиональное совершенство, выбытие. Основные функции системы управления отбором персонала (прогнозирование, планирование, организация, координация, регулирование, нормирование, учёт, контроль, анализ, мотивация) практически все реализуются в контурах управления конкретными подпроцессами.

Правило отбора кандидатов на должность по комплексной оценке компетенций выглядит следующим образом:

$$V_j \Leftrightarrow \begin{cases} D_A, P = 5, Y_{ik_{\min}}^5 \leq Y_{ij}^5 \leq Y_{ik_{\max}}^5, \\ D_A, P = 6, Y_{ik_{\min}}^6 \leq Y_{ij}^6 \leq Y_{ik_{\max}}^6, \\ D_A, P = 7, Y_{ik_{\min}}^7 \leq Y_{ij}^7 \leq Y_{ik_{\max}}^7, \\ D_M, Y_{ik_{\min}}^M \leq Y_{ij} \leq Y_{ik_{\max}}^M, \\ D_R, Y_{ik_{\min}}^R \leq Y_{ij} \leq Y_{ik_{\max}}^R. \end{cases} \quad (2)$$

где  $V_N$  –  $j$ -ый кандидат на должность  $D$ ;

$P$  – разряд;

$D_A, D_M, D_R$  – должности вальцовщика ( $D_A$ ), мастера ( $D_M$ ), руководителя ( $D_R$ );

$Y_{ij}$  – комплексная оценка  $i$ -ых компетенций для  $j$ -ого кандидата на должность;

$Y_{ik \min}$ ,  $Y_{ik \max}$  – минимальные и максимальные значения суммарных  $i$ -ых компетенций, соответствующих  $k$ -ой должности.

Для управления процедурой отбора персонала на вакантные места, выполнения должностных обязанностей на рабочих местах предлагается структурная схема системы управления отбором персонала (рисунок 1).

Процесс учета компетенций кандидатов осуществляется поэтапно.

Оцениваются компетенции кандидата  $Y_{ij}$ . Определяются балльные оценки компетенции, соответствующие должности,  $Y_{ijk}$ .

Сравниваются уровень компетенции кандидата  $Y_{ij}$  с уровнем компетенциями, соответствующими должности  $Y_{ijk}$ . Выявляется соответствие необходимого уровня компетенций у работника. Действующая система SAP R/3 позволяет в автоматическом режиме сравнить подпрофиль «Требования» с подпрофилем «Квалификации».

Если уровень компетенции кандидата  $Y_{ij}$  не соответствует уровню компетенций должности  $Y_{ijk}$ , то необходимо спланировать получение компетенций для работника. На данном этапе планируются и подготавливаются мероприятия с целью устранения выявленных несоответствий.

Разработан ряд форм отчетов, позволяющих в автоматическом режиме выявить работников, не соответствующих требованиям должности и сгруппировать их по необходимым параметрам: категории, структурному подразделению, квалификации. На основании данного отчета формируется заявка на обучение по конкретному подразделению и список работников, подлежащих обучению по определенной компетенции. Компетенции могут быть получены в образовательных учреждениях высшего, среднего и низшего профессионального образования, в региональном центре подготовки персонала, в вечерних сменных школах.

Уровень развития профессиональных компетенций и профессионально важных особенностей личности работников определяется путем проведения оценочных мероприятий по желанию руководителей подразделения в рамках аттестации или по отдельной заявке посредством использования экспертной оценки и других методов оценки персонала.

Структурная схема процедуры оценивания компетенций выпускников представлена на рисунке 2.

Для выпускников профессиональных училищ (ПУ № 29, № 67, ПЛ № 19) и колледжа (КИК) определяются такие основные составляющие компетенций, как профессиональные знания и практические умения; выполнение требований охраны труда и промышленной безопасности; качество выполняемых работ; поведенческие навыки и профессионально важные качества личности (дисциплинированность; инициативность; ответственность, техническое мышление и др.).

Степень освоения компетенций оценивается в баллах. При этом компетенции оцениваются экспертами, в качестве которых могут быть руководители, высококвалифицированные специалисты.

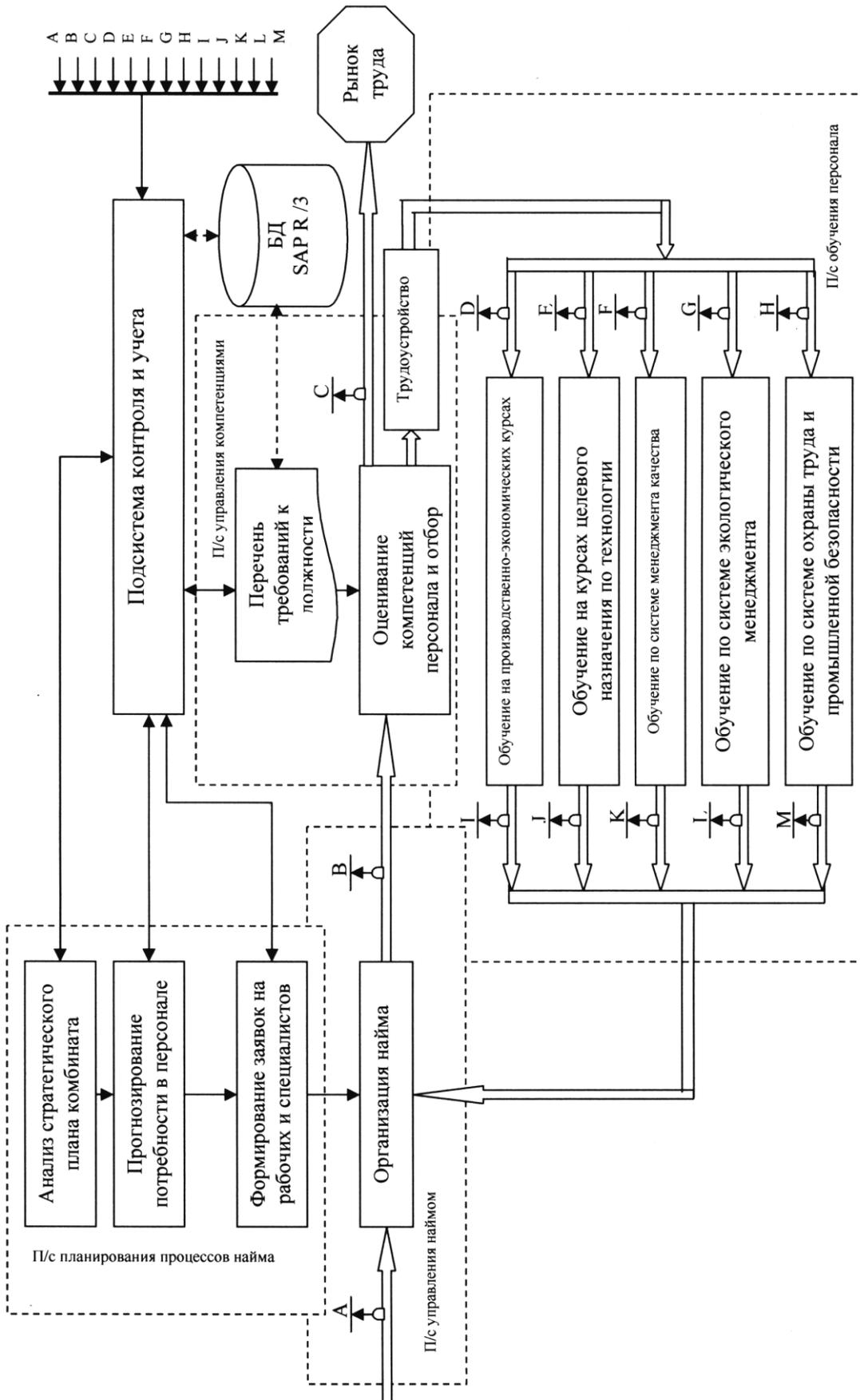


Рисунок 1 – Функциональная структура автоматизированной системы управления отбором персонала

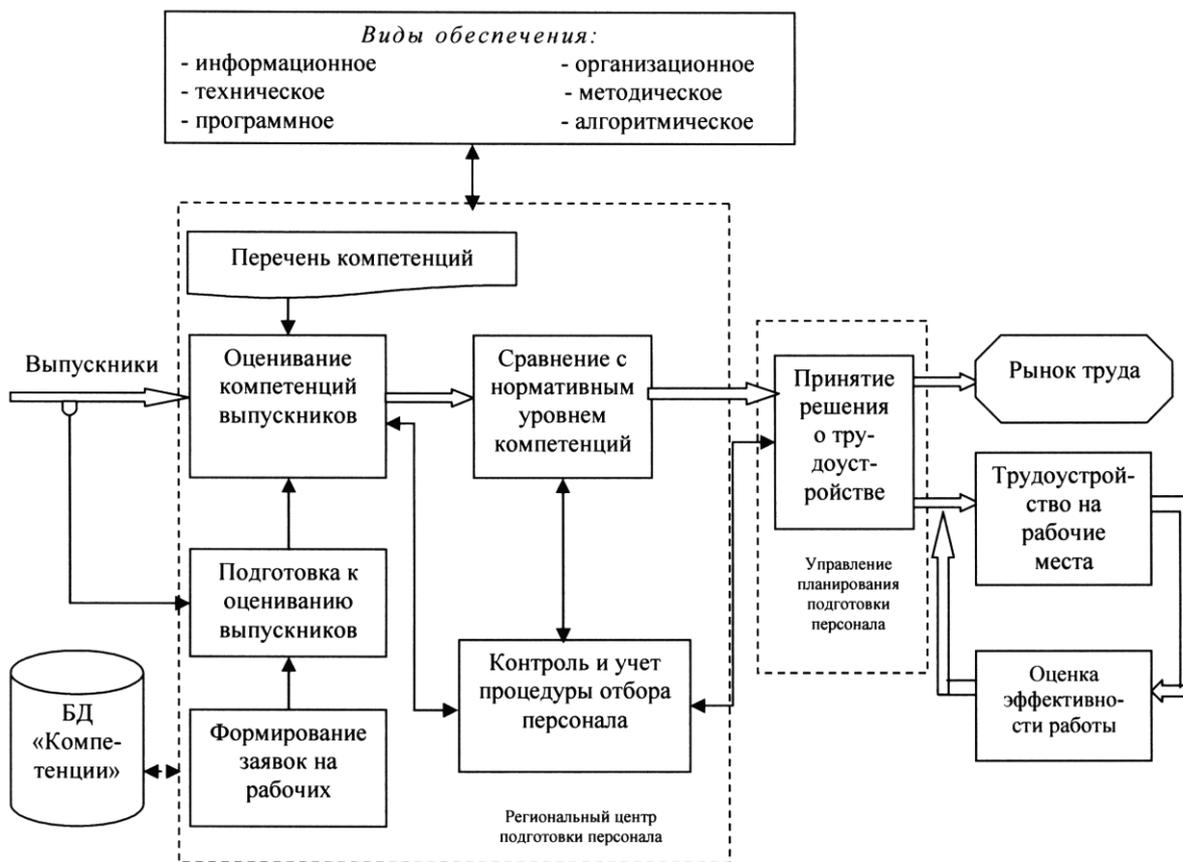


Рисунок 2 – Функциональная структура процедуры оценивания компетенций выпускников

Эксперт ставит:

- балл 3 (соответствует оценке «отлично») при высокой степени освоения компетенций (знаний, умений, навыков и т.п.) для данной деятельности;

- балл 2 (оценка «хорошо») при достаточно высоком развитии умений и навыков, связанных с данным качеством выполняемой деятельности;

- балл 1 (оценка «удовлетворительно») при удовлетворительных для деятельности умениях, навыках, знаниях, качествах личности.

Оценочная шкала профессионально-важных качеств выпускников, используемая цехом при прохождении практики.

На основании комплексной оценки компетенций устанавливается соответствие кандидата (выпускника) требованиям должности и рабочего места. Если выпускник получил недостаточное количество баллов, возможно трудоустройство по другой профессии. При этом он дополнительно обучается на курсах в региональном центре НОУ «РЦПП».

После того как эксперты по результатам прохождения практики оценят кандидатов, данные по оценкам профессионально-важных качеств передаются в НОУ «РЦПП», где вносятся в электронную базу данных SAP R/3.

## О ПОКАЗАТЕЛЯХ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ ПРОКАТА И ИХ ПРИМЕНИМОСТИ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ

Кулаков С.М., Бондарь Н.Ф., Гонилова Т.Г., Чабан С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Приемо-сдаточные испытания по прямолинейности рельсов в Российской Федерации производятся по ГОСТ Р 51685 и соответствующим техническим условиям (ТУ), которые разрабатываются на базе указанного ГОСТа. Браковочные допуски по прямолинейности для испытания концевых и переходных зон рельса устанавливаются в соответствии с требованиями Европейского стандарта EN 13674.

Правила браковки рельсов основаны на сравнении оценок  $\hat{Y}(x_i)$  местного прогиба так называемого продольного профиля рельса в вертикальной и горизонтальной плоскости с соответствующими допусками. При этом для получения оценок  $\hat{Y}(x_i)$  используются линейки различной длины:  $L = 1; 1,5; 3$  м.

Ниже приведены три правила принятия решения о локальной браковке рельса для его корпуса, концевых и переходных зон.

1) Для корпуса рельса:

$$R_m^e(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } \hat{Y}(x_i) \leq 0,4 \text{ для } L = 3\text{ м и } \hat{Y}(x_i) \leq 0,3 \text{ для } L = 1\text{ м} \\ 1, & \text{при } \hat{Y}(x_i) > 0,4 \text{ для } L = 3\text{ м } \vee \hat{Y}(x_i) > 0,3 \text{ для } L = 1\text{ м} \end{cases}$$

где 0, 1 – обозначают «годен» и «брак» соответственно;

$x_i$  – пространственная координата по длине рельса, мм;

$i$  – номер дискретного отсчета линейного прогиба  $\hat{Y}(x_i)$ ;

0,4, 0,3 – допуски по прямолинейности для испытаний вертикальной плоскости рельсов класса В, мм;

$\hat{Y}(x_i)$  – оценка местного прогиба (МП) продольного профиля в точке  $x_i$ , представляющего собой отклонение ординаты поверхности рельса от ординаты точки, принадлежащей идеальной линейке, длиной  $L$ , концы которой лежат на поверхности рельса, мкм;

Продольный профиль (ПП)  $U(x_i)$  – это ордината поверхности рельса, равная отклонению координаты поверхности рельса от оси координат  $x_i$ , направленной вдоль рельса, мкм.

2) Для концов рельса:

$$R_k^e(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } \hat{Y}(x_i) \leq 0,5 \text{ для } L = 1,5\text{ м} \\ 1, & \text{при } \hat{Y}(x_i) > 0,5 \text{ для } L = 1,5\text{ м} \end{cases}$$

3) Для переходной зоны:

$$R_{n3}^e(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } \hat{Y}(x_i) \leq 0,4 \text{ для } L = 1,5\text{м} \\ 1, & \text{при } \hat{Y}(x_i) > 0,4 \text{ для } L = 1,5\text{м} \end{cases}$$

Бракованные по прямолинейности локальные участки рельсов подвергаются правке на соответствующем оборудовании.

Оценивание местных прогибов рельса для линеек различной длины и использование их для разбраковки рельсов в производственном процессе является трудоемким и не всегда точным процессом [1]. Поэтому целесообразно разработать и исследовать альтернативные показатели прямолинейности. Далее рассмотрим некоторые из предлагаемых показателей.

*Показатель локального размаха кривой продольного профиля рельса*

$$Q_j = U^{\max}(x_{ij}) - U^{\min}(x_{ij}),$$

где  $j$  – порядковый номер участка рельса заданной длины.

Данный показатель отражает локальные неровности ППР. Чем длиннее участок, на котором оценивается размах, тем точнее выявляется максимальная неровность и лучше выявляется непрямолинейность рельса в целом. Однако при этом могут быть пропущены дефекты, несколько меньшие, чем максимальные.

*Распределение вероятностей отклонений отсчетов ППР от средней идеальной линии  $U_{cp}^*$  (рисунок 1)*

$$\hat{P}_j = F(\Delta U(x_i) \in \Delta U_j); \Delta U(x_i) = U(x_i) - U_{cp}^*,$$

где  $j$  – порядковый номер элементарного интервала, длиной 20 мкм, на диапазоне изменений  $\Delta U(x_i)$ .

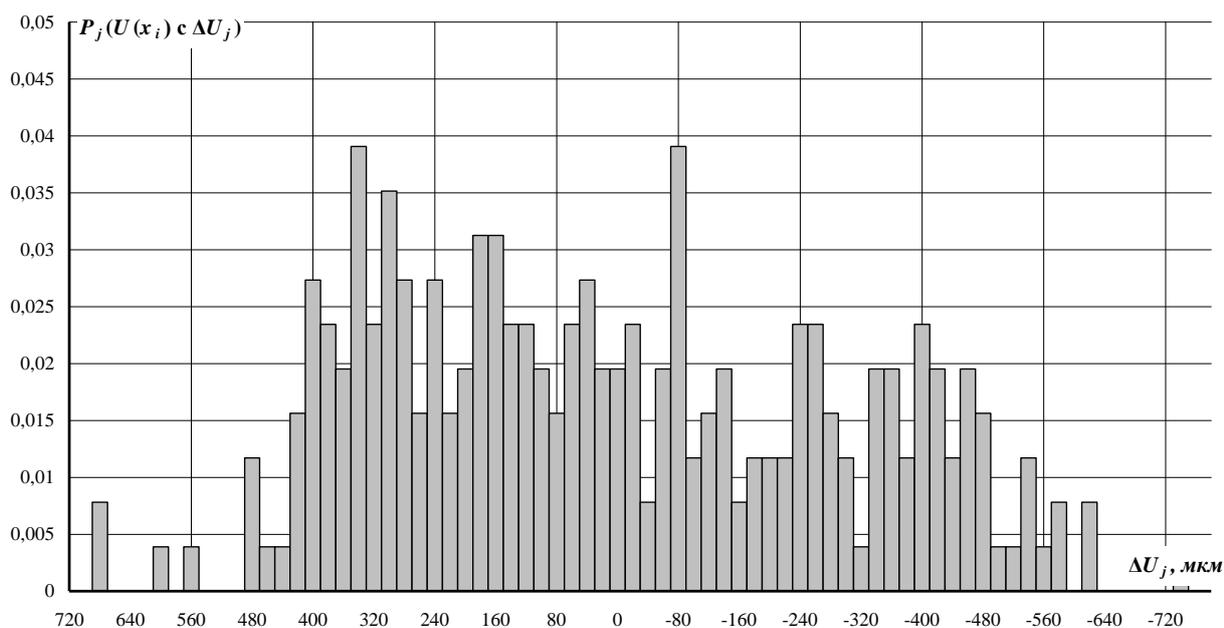


Рисунок 1 – Гистограмма распределения отклонений отсчетов ППР от  $U_{cp}^*$

*Первые разности отсчетов ППР и их текущая сумма*

$$dU(x_i) = U(x_i) - U(x_{i-1});$$

$$dU_{\Sigma}(x_i) = dU_{\Sigma}(x_{i-1}) + dU(x_i).$$

Первые разности отсчетов ППР характеризуют изменение функции ППР на соседних отсчетах и по сути являются оценкой первых производных ППР по координате  $x_i$ . Их текущая сумма отражает «провалы» и «подъемы» эмпирической функции ППР и в этом смысле является информативной для выявления локальных неровностей.

В работе выполнен расчет прямолинейности по алгоритму оценки местных прогибов. На графиках рисунка 2 представлено сравнение оценок местных прогибов и предложенных показателей локальных размахов.

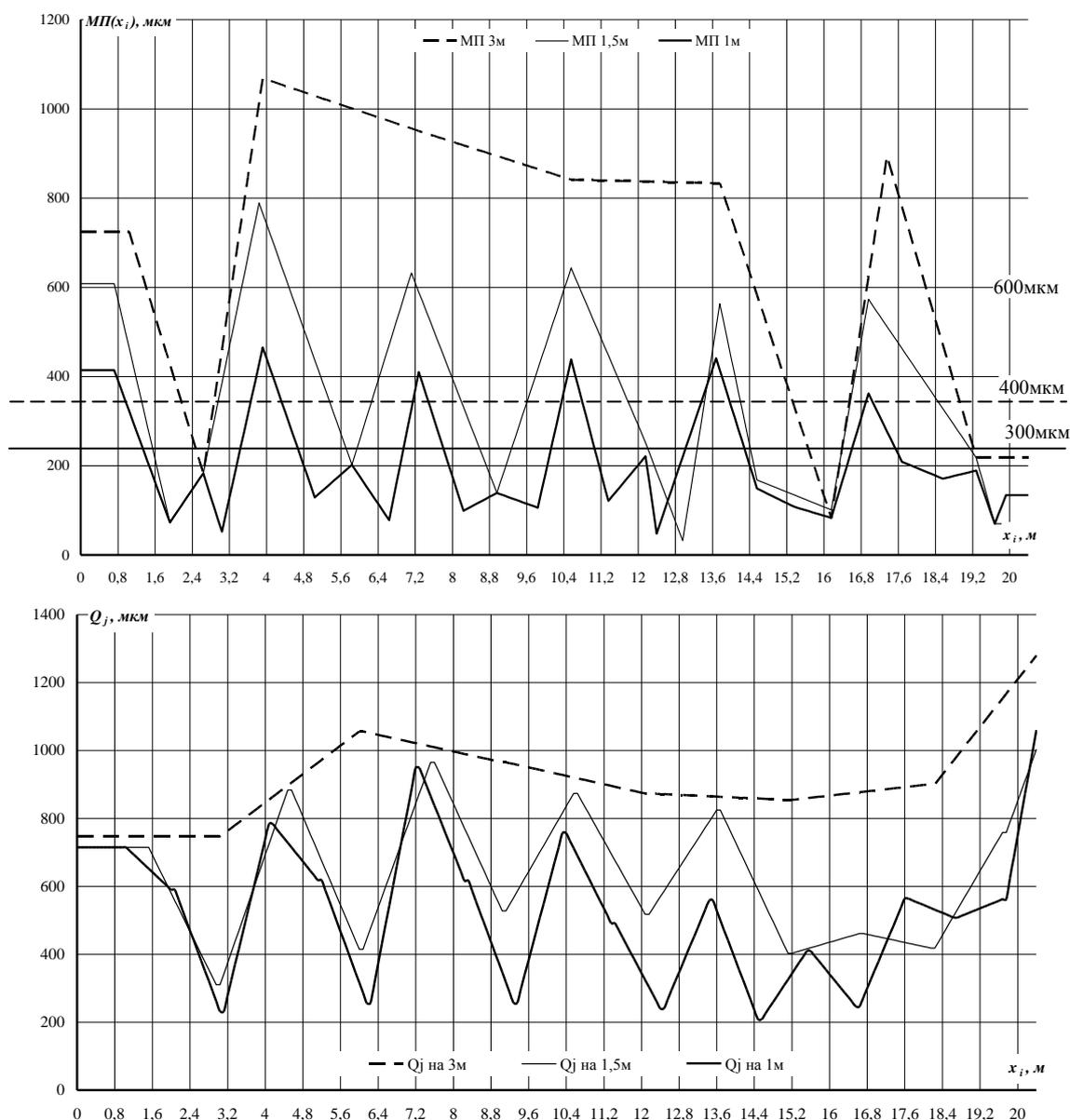


Рисунок 2 – Сравнение оценок местных прогибов с показателями локального размаха кривой

Анализ позволяет сделать вывод о целесообразности комплексного использования традиционного и предлагаемых показателей.

При этом новые показатели отражают главным образом общую «картину» непрямолинейности рельсов, а показатель МП позволяет определить пространственные координаты дефектного участка рельса и, тем самым, правильно спланировать процесс правки.

#### Библиографический список

1. Чабан С.В. Опыт и перспективы замера прямолинейности «горячих» рельсов с температурой конца прокатки на ОАО «КМК» / С.В. Чабан, С.М. Кулаков // Материалы юбилейной рельсовой комиссии 2002. Сборник докладов. – Новокузнецк: ОАО «НМК», 2002.- С.180-183.

УДК 681.3

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «TRAFFIC INSPECTOR»**

Новоселов А.В., Грачев В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время без локальных сетей трудно представить работу организаций. Во многих районах города также развиваются домовые сети. Локальная сеть - это сложная система, включающая множество разнообразных компонентов: компьютеры разных типов, начиная с настольных пользовательских ПК и кончая крупными серверами, системное и прикладное программное обеспечение, сетевые адаптеры, концентраторы, коммутаторы и маршрутизаторы, кабельную систему. Основная задача системных администраторов состоит в том, чтобы эта громоздкая и весьма дорогостоящая система как можно лучше справлялась с обработкой потоков информации, циркулирующих между сотрудниками предприятия (абонентами домашней сети) и позволяла принимать им своевременные и рациональные решения, обеспечивающие выживание предприятия в конкурентной борьбе. Это зависит не только от дорогостоящего сетевого оборудования, но и от грамотно разработанного программного обеспечения. На рынке существует множество решений от российских и зарубежных разработчиков, но одним из самых популярных является программный продукт компании «СМАРТ-СОФТ» под названием Traffic Inspector.

При всех преимуществах над другими решениями (наличие прокси-сервера, работа с NAT, встроенная маршрутизация, наличие клиентской программы) система имеет и некоторые недостатки:

- 1) Серверная часть программы Traffic Inspector реализована только под платформу Windows (2000/XP/2003/Vista), клиенты же могут использовать

любую операционную систему.

2) «Статистика» может быть реализована лишь посредством внутреннего языка, предлагаемого разработчиками.

Сервис данной программы использует два варианта выдачи подробной статистики абоненту: встроенный язык скриптов TISP и с помощью ASP.NET приложений. Но оба эти варианта неудобны и труднореализуемы при интеграции веб-статистики в корпоративный сайт организации (предприятия или домашней сети) т.к. наиболее популярной платформой для веб-сервера является операционная система из семейства Unix на которой установлено ПО Apache с модулем обработки скриптов PHP. В данных условиях невозможен запуск TISP-скриптов и ASP.NET приложений.

Существует несколько решений данной задачи:

1) Сменить операционную систему на веб-сервере локальной сети с Unix на Windows. Однако перенос и настройка программного обеспечения может занять длительное время и отнять значительные трудовые ресурсы.

2) Создать некоторое промежуточное программное обеспечение, которое позволит программировать вывод статистики на языке PHP.

Данный способ потребует изменения функциональной схемы информационной системы в соответствии с рисунком 1.

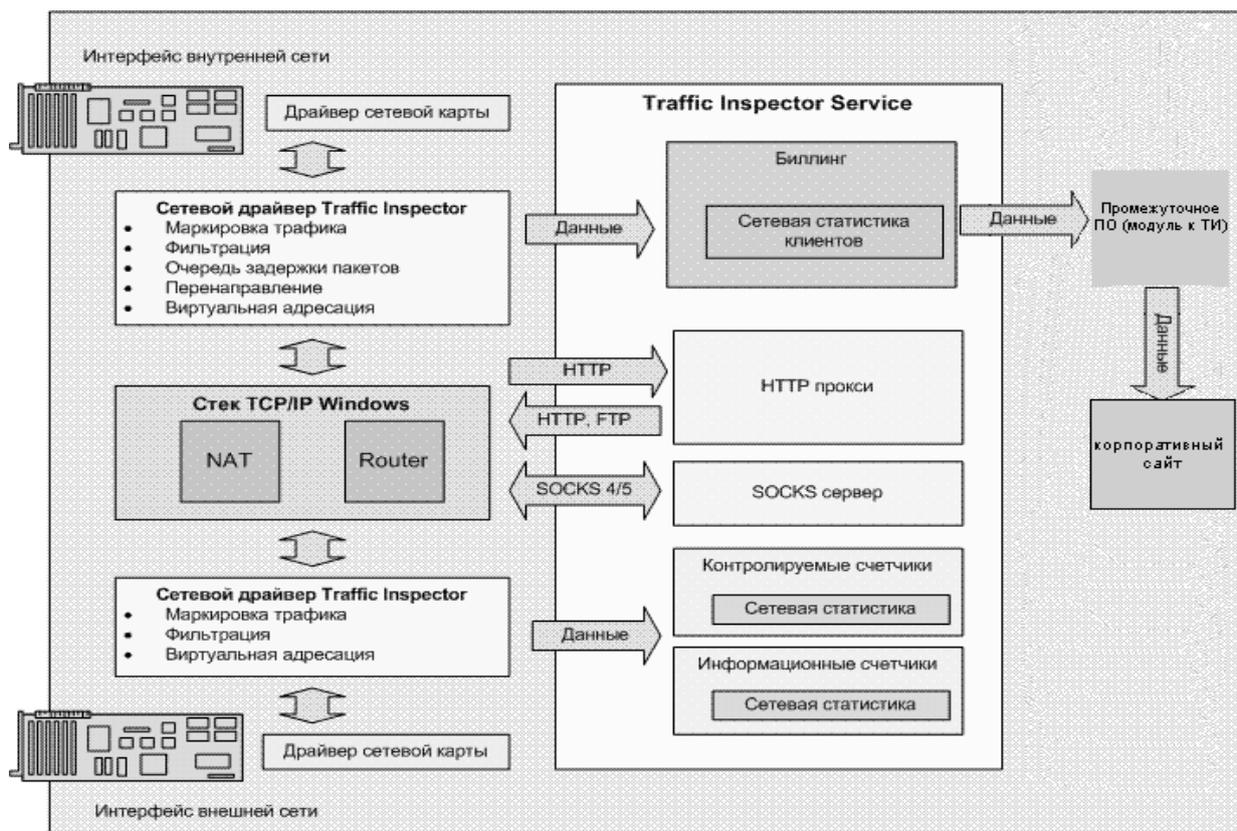


Рисунок 1 – Структура информационной системы с предлагаемыми изменениями

Изменения не затрагивают внутреннюю структуру информационной системы, а лишь расширяют ее.

В качестве промежуточного программного обеспечения может использоваться программа, написанная для платформы веб-сервера, или скрипт на встроенном языке операционной системы. Данному приложению необходимо будет проводить чтение файлов данных программного комплекса Traffic Inspector и после переработки добавлять их в базу данных некоторой СУБД, поддерживаемой веб-сервером. В ближайшем будущем алгоритм этого приложения может упроститься, если разработчики Traffic Inspector добавят к своему продукту поддержку технологии распределённых приложений, которая позволяет осуществить интеграцию изолированных систем, т.е. дает возможность программам, написанным на разных языках, работающим на разных узлах сети, взаимодействовать друг с другом так же просто, как если бы они находились в адресном пространстве одного процесса.

Разработка данного модуля позволит сократить время на изучение встроенного языка информационной системы т.к. вывод статистики может быть реализован на любом распространенном языке программирования веб-приложений. Будет решена проблема переносимости статистики на любую удобную для администратора сети операционную систему (т.е. на ту где находится веб-сервер и, соответственно, сайт компании). Это изменение в структуре программы позволит также размещать статистику не только внутри сети где работает Traffic Inspector, но и на ресурсах внешней хостинговой компании (в том случае если организация не имеет своего выделенного веб-сервера). Данное преимущество также позволит пользователям просматривать статистику с любого узла сети Internet (а не только с компьютера, непосредственно входящего в корпоративную или домовую сеть предприятия).

Недостатком данного решения может быть снижение скорости обновления данных статистики и повышение нагрузки на веб-сервер (при соответствующем снижении нагрузки на сервер, непосредственно производящий учет трафика клиента).

УДК 669.046:62-503.5

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ СТАЛИ**

Кошелев А.Е., Криволапова Л.И., Кравцова О.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

*1. Актуальность темы.* Для решения проблем повышения качества стали были разработаны новые способы обработки металла как в самом агрегате (конвертер, электропечь), так и вне его – с использованием установок внепечной обработки стали: вакууматор, агрегат комплексной обработки стали (АКОС), установка продувки стали инертным газом (УПСА).

Использование различных вариантов обработки стали вызывает необходимость совершенствования действующих систем технической диагностики как отдельных элементов, так и объекта управления в целом. Эти системы диагностики в процессе продувки расплава инертным газом должны выявлять предаварийные ситуации, характерные для конкретного варианта продувки стали, например [1]:

- «заметалливание» продувочного устройства, то есть нарастание в ходе продувки своеобразной металлической диафрагмы на продувочном устройстве с постепенно уменьшающимся диаметром сопла;

- появление «свищей», возникающих в результате разъедания швов между огнеупорными блоками расплавленным металлом;

- полное разрушение «заросшего» продувочного сопла фурмы.

Так как все процессы появления дефектов в продувочных устройствах развиваются по ходу продувки, обнаружить их в реальном режиме времени очень сложно. В результате этого качество металла не соответствует заданным свойствам.

2. *Описание модернизированной системы диагностики.* Анализ эффективности действующих систем технической диагностики продувочных устройства агрегатов внепечной обработки стали выявил их низкую работоспособность. Повышение эффективности действующих автоматизированных систем диагностики состояния продувочных устройств достигнуто посредством включения в состав действующих систем диагностики нового алгоритмического модуля. Задачей введенного модуля является обнаружение предаварийных ситуаций, используя, в реальном времени, для этого информацию совокупности контролируемых измерительных сигналов (давление и расход инертного газа, высота погружения фурмы).

Модернизированная АСУ АКОС имеет двухуровневую иерархическую структуру (рисунок 1).

В состав нижнего уровня иерархии входит подсистема «Обработка», реализованная на базе контроллера AllenBradley 5500 и предназначенная для сбора информации о ходе процесса обработки стали на АКОС: мгновенный расход газа на продувку, давление на фурме, состояние клапана подачи газа и контрольное положение фурмы, сигналы слива на печах, состояние весового оборудования (питатели, затворы) и текущий вес сыпучих материалов на весодозаторах, текущее положение фурмы, наличие признаков разлива и масса разлитых на машине непрерывного литья заготовок стали; предварительной обработки полученной информации и передачи ее на верхний уровень.

В состав верхнего уровня входят подсистемы «Диспетчер» «Визуализация» и «Диагностика продувочных устройств», которые реализованы на базе рабочей станции (Celeron CPU 3.2 GHz, 2 Гб ОЗУ).

Подсистема «Диспетчер» обеспечивает: прием информации от подсистемы «Параметры»; прием информации с сенсорной клавиатуры на постах управления АКОС; формирование видеogramм и выдача их на экран рабочей станции.

Рабочая станция: Celeron CPU 3.2 GHz, 2 Гб ОЗУ

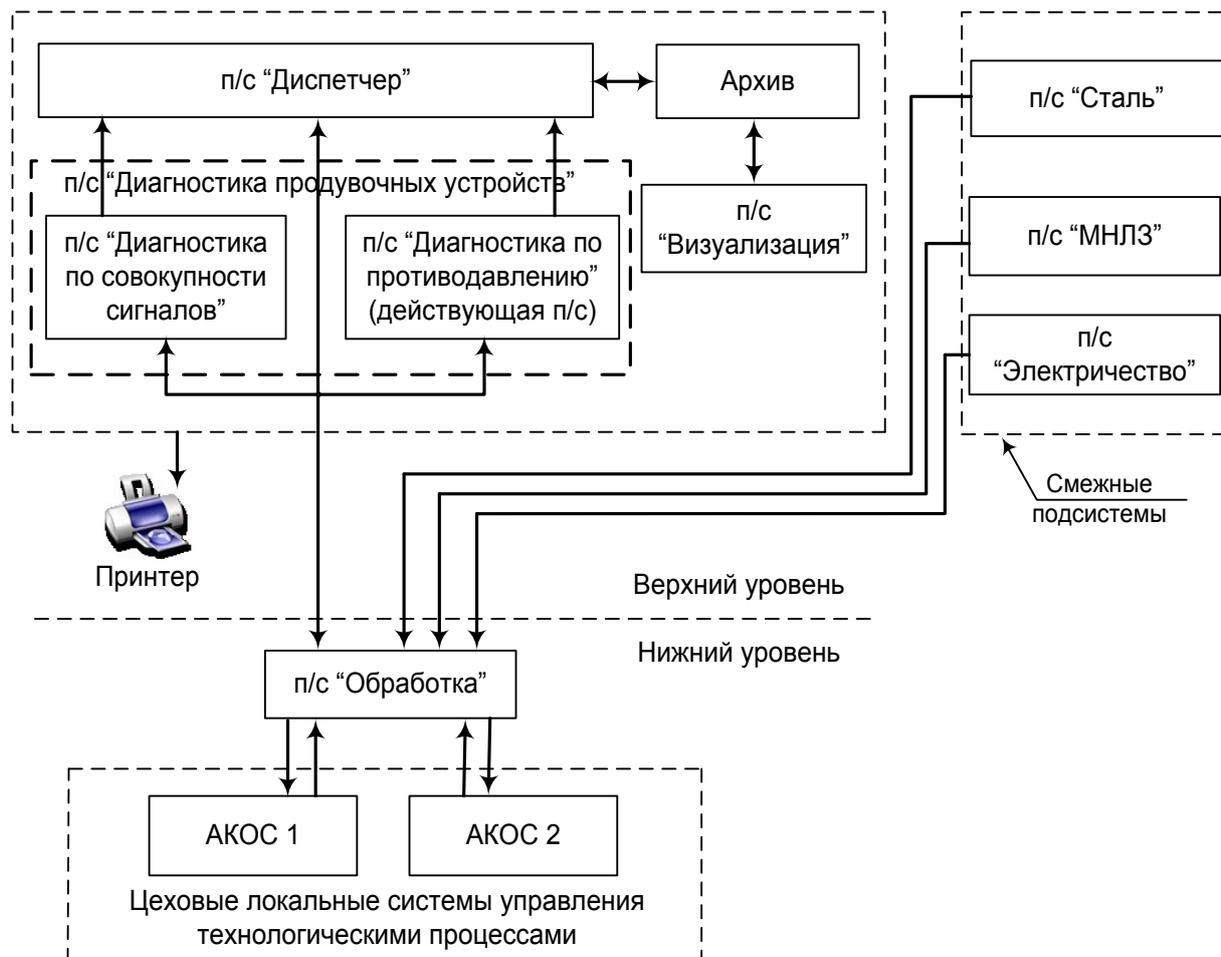


Рисунок 1 – Структура предлагаемой системы технической диагностики состояния продувочного устройства на агрегате комплексной обработки стали

Подсистема «Визуализация» предназначена для выполнения следующих функций: выделение требуемой информации из базы данных; формирование документов: паспортов плавки, протоколов, графических протоколов, графиков изменения параметров для заданной обработки; формирование справок по расходу ферросплавов и инертного газа по АКОС за заданный промежуток времени.

В подсистеме «Диагностика продувочных устройств» обработка информации осуществляется параллельно по двум каналам, один из которых осуществляет диагностику состояния продувочного устройства по противодействию. Второй канал диагностирует состояние продувочных устройств по структурным изменениям совокупности сигналов контролируемых переменных. Обнаружение локальных структурных изменений во всех контролируемых сигналах осуществляется с помощью вейвлет-анализа [2]. АСУ

АКОС функционирует в информационно – советующем режиме, с оперативным представлением текущей информации о состоянии диагностируемых элементов.

Основными блоками разработанного алгоритмического модуля являются:

1) формирование исходных условий: интервал сглаживания, тип и число уровней детализации измерительного сигнала, диапазон допустимых значений расчетных величин;

2) проверка достоверности значений контролируемых величин;

3) нормирование исследуемых временных рядов данных с последующей фильтрацией;

4) одновременный структурный анализ всех анализируемых измерительных сигналов с помощью многоканальной структуры алгоритма вейвлет–анализа, расчет вейвлет–свертки осуществляется по рекуррентной формуле:

$$W(l, a, b) = W(l-1, a, b) + |a|^{-1/2} \sum_{\rho=l-Na+1}^{Na} b_{n_a, \rho} \Delta x(\rho) \text{ для всех заданных } (a, b) - \text{ параметров}$$

уровней детализации структуры исследуемых временных последовательностей: расход, давление газа и положение фурмы - в текущий  $l$  – й момент, где  $n_a = 1, 2 \dots Na$  – число весовых коэффициентов вейвлет-базиса на выбранном уровне детализации сигнала;  $\Delta x(\rho)$  – значение приращения в соседние моменты времени анализируемого параметра [3]; полученные расчетные величины вейвлет-свертки, характеризующие локальные изменения структуры анализируемого сигнала, запоминаются на период, соответствующий требованиям технологической инструкции;

5) анализ текущего состояния диагностируемого элемента осуществляется посредством соответствия совокупности полученных значений вейвлет–свертки определенным предаварийным состояниям, например:

– для исправного продувочного устройства характерна следующая ситуация:

$$\begin{cases} W_{p(min)}(l) < W_p(l) > W_{p(max)}(l); \\ W_{Q(min)}(l) < W_Q(l) > W_{Q(max)}(l); \\ W_{h(min)}(l) < W_h(l) > W_{h(max)}(l); \end{cases}$$

– для дефекта типа «свищ» характерна следующая ситуация:

$$\begin{cases} W_{p(min)}(l) > W_p(l) < W_{p(max)}(l); \\ W_{Q(min)}(l) < W_Q(l) > W_{Q(max)}(l); \\ W_{h(min)}(l) < W_h(l) > W_{h(max)}(l); \end{cases}$$

– для дефекта типа «заметалливание» характерна следующая ситуация:

$$\begin{cases} W_{p(\min)}(l) < W_p(l) < W_{p(\max)}(l); \\ W_{Q(\min)}(l) > W_Q(l) > W_{Q(\max)}(l); \\ W_{h(\min)}(l) < W_h(l) < W_{h(\max)}(l); \end{cases}$$

где  $W_p(l), W_Q(l), W_h(l)$  – расчетные значения вейвлет–свертки трех исследуемых величин: давления, расход и глубина погружения продувочной фурмы;

$W_{p(\max)}(l), W_{Q(\max)}(l), W_{h(\max)}(l), W_{p(\min)}(l), W_{Q(\min)}(l), W_{h(\min)}(l)$  – предельные значения расчетной величины вейвлет–свертки.

б) представление информации о результате диагностирования технологическому персоналу по ходу текущей внепечной обработки стали.

На рисунке 2 представлены результаты диагностирования продувочного устройства плавки №11018. Так, например, в ситуации, когда наблюдается рост значений вейвлет–свертки анализируемых сигналов о расходе газа и положении фурмы, а значения вейвлет–свертки сигнала о давлении газа изменяются незначительно и не превышают установленный диапазон, можно говорить об образовании в продувочной фурме свища.

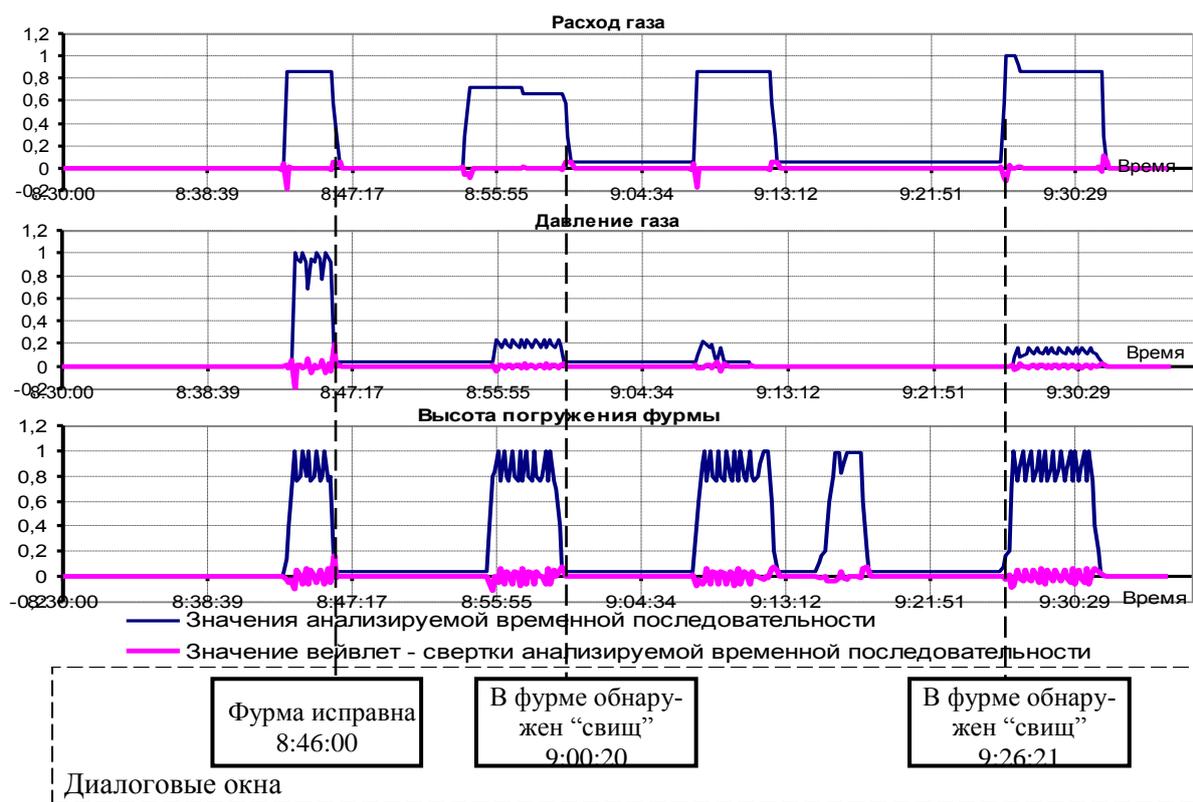


Рисунок 2 – Реализации, характеризующие значения контролируемых величин плавки с возможным дефектом фурмы (№ 11018)

*Заключение.* Разработанная подсистема технической диагностики содержит два диагностирующих канала, один из которых работоспособен

только для одного варианта обработки стали, а другой диагностирующий канал, осуществляющий структурный анализ измерительных сигналов с целью обнаружения дефектов работоспособен для любого варианта внепечной обработки стали. Такая структура диагностирующего модуля обеспечивает гибкость системы управления и повышает ее надежность системы в целом.

#### Библиографический список

1. Коган А.Е. Внепечные и ковшевые процессы: учебное пособие / А.Е. Коган. – Новокузнецк: Изд-во Сибирского металлургического института, 1990. – С. 99.
2. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Р, 2002. 448 с.: ил.
3. Кошелев А. Е. Построение вейвлет-спектрограммы с использованием параллельных вычислений / А. Е. Кошелев, Л.И. Криволапова, О. А. Кравцова // Технологическое образование в XXI веке. Материалы 3-й Международной научно-практической конференции в 4-х томах. Том 2. – Новокузнецк: Изд-во КузГПА, 2006. – С. 74–78.

УДК 658.52.011.56:004.896

## **О ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ НЕЙРОЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОМ РЕЖИМОМ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ КАЛУГИНА**

Кулаков С.М., Трофимов В.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В качестве объекта управления рассмотрен новый бесшахтный воздухонагреватель (ВН) конструкции Калугина. В действующей системе автоматического управления тепловым режимом ВН путем изменения расхода воздуха поддерживается рациональное соотношение «газ/воздух» при максимально возможном расходе газа. Замеры содержания СО в дымовых газах для ВН Калугина и шахтного ВН в условиях ОАО «ЗСМК» свидетельствуют об отсутствии заявленного Калугиным преимущества его ВН перед традиционными ВН. Причиной такого положения является, по нашему мнению, неэффективное автоматическое регулирование процесса горения топлива в режиме «нагрев». В результате анализа проблемной ситуации сформирована следующая *задача построения нейроэкспертной системы управления тепловым режимом ВН.*

*Исходные данные и условия задачи:* 1) Концепция управления техническим объектом на основе разделения его движения на две составляющие: программную и возмущенную. 2) Потенциально применимые для ВН структуры системы управления, включая беспойсковые и поисковые системы

адаптивного управления с прогнозированием, а также основные интеллектуальные системы управления [1]. 3) Известные методы и алгоритмы: – оптимизации режима на базе статической характеристики ВН (Б.Н. Парсункин); – управления ВН с помощью моделей его внутренних закономерностей (К.Р. Muske); – управления агрегатом с применением экспертной подсистемы диагностики (В.И. Соловьев, В.Г. Лисиенко); – адаптивного управления с прототипами (В.П. Авдеев, А.В. Пинтов, В.И. Веревкин); – прогнозирования на базе типопредставительных ситуаций (Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко [2]). 4) Структура нейроэкспертной модели технологического объекта управления  $Y_M(t) = \Phi_1(U_{1П}(t), U_{2П}(t), W_K^B(t)) + \Phi_2(\delta U_1(t - T_n), \delta U_2(t - T_n), \delta W_K(t - T_n)) + \delta Y(t)$ ;  $U_1(t) = U_{1П}(t) + \delta U_1(t)$ ;  $U_2(t) = U_{2П}(t) + \delta U_2(t)$ ;  $W_K(t) = W_K^B(t) + \delta W_K(t)$ , где  $\Phi_1(\cdot)$  – продукционная модель соответствия программных управляющих воздействий  $U_{1П}(t)$ ,  $U_{2П}(t)$  и базовых уровней контролируемых внешних воздействий  $W_K^B(t)$  программной составляющей выходного воздействия, накапливаемые и модифицируемые в БЗ;  $\Phi_2(\cdot)$  – нейросетевая модель влияния отклонений от программных и базовых уровней входных воздействий на изменение выходного воздействия;  $Y_M(t)$  – выходное воздействие модели объекта управления (температура подкупольного пространства);  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  – управляющие воздействия (расход газа, расход воздуха);  $\delta U_1(t)$ ,  $\delta U_2(t)$  – регулирующие воздействия;  $\delta Y(t)$  – эффект неконтролируемых внешних воздействий;  $W_K(t)$  – контролируемое внешнее воздействие (калорийность газа);  $\delta W_K^B(t)$  – отклонение от  $W_K^B(t)$ ;  $T_n$  – интервал памяти объекта. 5) Интегральный критерий оптимальности управления:  $Q(t) = \gamma_1 Q_1^H(t) + \gamma_2 Q_2^H(t) + \gamma_3 Q_3^H(t)$ ;  $Q_j^H(t) = \frac{Q_j(t) - Q_j^{\min}}{Q_j^{\max} - Q_j^{\min}}$ ;  $Q_1(t) = \int_{t_n}^{t_k} |E_P(t)| dt$ ;  $Q_2(t) = \int_{t_n}^{t_k} U_1(t) dt$ ;  $Q_3(t) = \int_{t_n}^{t_k} M_{CO}(t) dt$ , где  $Q_1^H(t)$ ,  $Q_2^H(t)$ ,  $Q_3^H(t)$  – нормированные значения  $Q_1(t)$ ,  $Q_2(t)$ ,  $Q_3(t)$ ;  $j = 1, 2, 3$ ;  $Q_1(t)$  – интегральная оценка качества переходного процесса за время нагрева ( $t_k - t_n$ );  $E_P(t)$  – ошибка реализации программного движения;  $Q_2(t)$  – интегральный расход топлива;  $Q_3(t)$  – количество угарного газа выбрасываемого в атмосферу за период нагрева;  $M_{CO}(t)$  – концентрация угарного газа в дыме;  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  – весовые коэффициенты. б) Ограничения на параметры управления и состояния. *Требуется* на базе названных аналогов и прототипов, включая действующую АСУ, разработать новую систему управления тепловым режимом ВН, минимизирующую интегральный критерий  $Q(t)$ , удовлетворяющую ограничениям и учитывающую опыт оператора-технолога (газовщика).

*Предлагаемая нейроэкспертная система управления тепловым режи-*

мом воздушнонагревателя. Созданная эвристическим путем структура нейроэкспертной системы управления тепловым режимом воздушнонагревателя Калугина опирается на концепцию программного и возмущенного движения и объединяет два современных инструмента – ИНС и ЭС. Функциональная структура нейроэкспертной системы управления ВН состоит из следующих частей:

1) Подсистема перекидки клапанов, представленная распознавателем моментов осуществления перекидки клапанов при переключении режимов работы ВН, блоком выбора программы перекидки и блоком реализации выбранной программы. Подсистема предназначена для перевода ВН с режима «дутье» на режим «нагрев» и обратно, через промежуточный режим «отделение» по соответствующей циклограмме. Каждая циклограмма представлена жесткой последовательностью переключения (перекидки) клапанов ВН, сформированной на основе ретроспективного анализа и оптимизации циклограммы, применяемой в действующей системе управления тепловым режимом воздушнонагревателя.

2) Подсистема регулирования теплового режима. Нейродвухкальный регулятор температуры состоит из поискового и беспойскового блоков. В поисковой части регулятора оптимальные управляющие воздействия определяются с использованием имитационной нейросетевой модели объекта управления (НМОУ), с помощью которой осуществляется прогнозирование его выходных воздействий и состояний в ускоренном режиме времени, при переборе возможных вариантов регулирующих воздействий с учетом ограничений.

Специфика поисковой части регулятора определяется: – оптимизацией управления на скользящем промежутке  $(t_n, t_n + T_o)$ , где  $T_o$  – интервал оптимизации,  $n$  – номер такта работы системы; – экстраполяцией контролируемых возмущений и косвенных оценок эффектов неконтролируемых возмущений, приведенных к выходу объекта, определяемых с помощью НМОУ, работающей в реальном времени. В качестве НМОУ предлагается использовать модифицированный многослойный персептрон с униполярной функцией активации сигмоидального типа. Формирование множества возможных вариантов регулирующих воздействий осуществляется с помощью различных алгоритмов обучения в беспойсковой части регулятора температуры. Регулятор соотношения «газ/воздух» работает в соответствии со следующим выражением:  $\delta U_2(t) = (U_{1П}(t) + \delta U_1(t)) / \alpha^*(t) - U_{2П}(t)$ , где  $\alpha^*(t)$  – заданный коэффициент соотношения «газ/воздух».

Анализатор отклонений от программы оценивает возможность выполнения регулятором программы управления, поскольку при чрезмерно больших отклонениях от заданной траектории движения необходима корректировка самой программы. В результате в блоке «Программатор» осуществляется корректировка программы управления, соответствующая сложившейся ситуации.

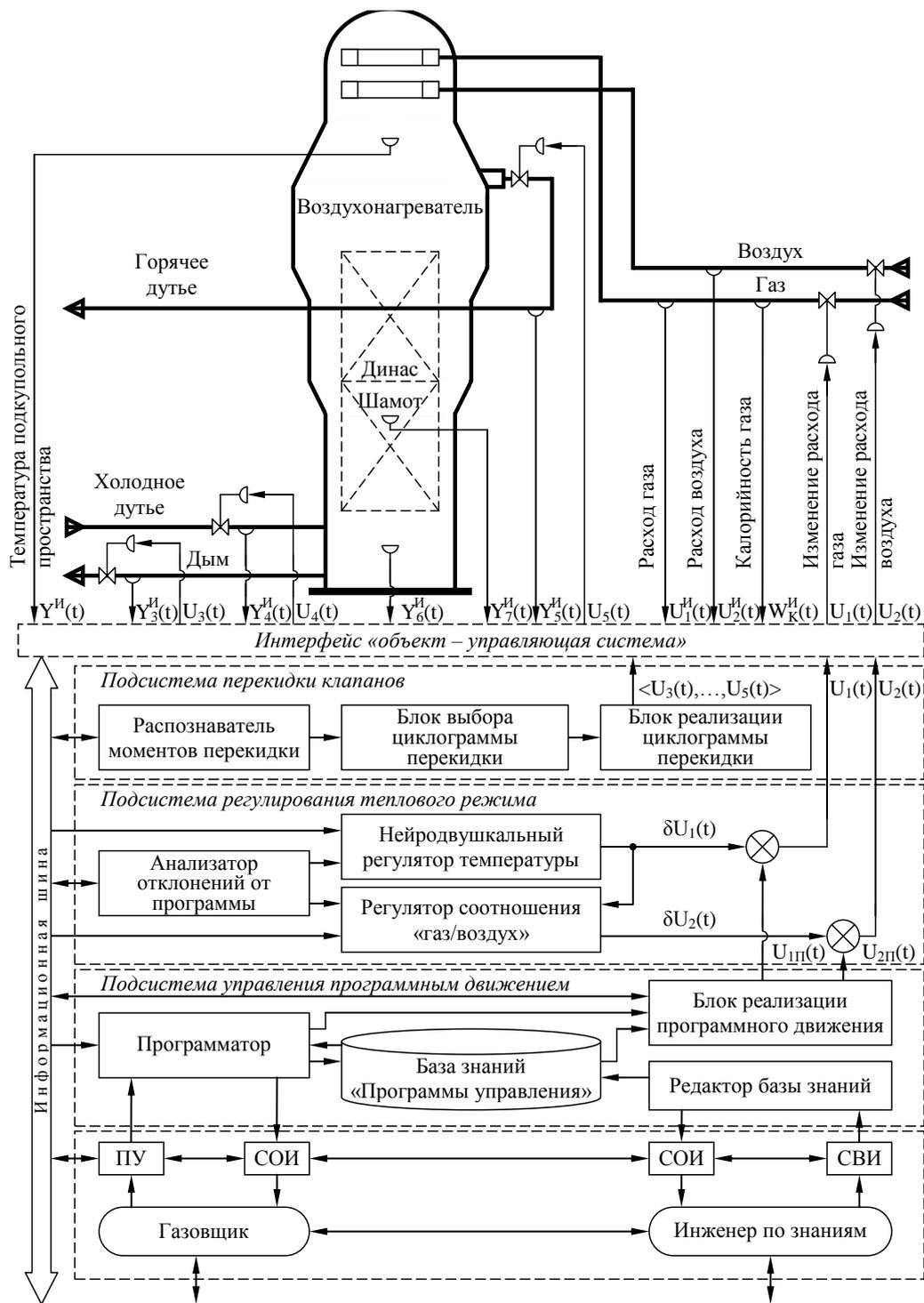


Рисунок – Структура нейроэкспертной системы управления В.Н. Калугина

3) Подсистема управления программным движением, состоящая из программатора, БЗ «Программы управления», редактора БЗ, блока реализации программного движения. БЗ содержит упорядоченное множество типовых программных траекторий на режим нагрева  $\langle Y_{II}(t), U_{IPI}(t), U_{2PI}(t) \rangle$  и условий, когда целесообразно их использовать. Типовое производное правило в БЗ выглядит следующим образом: «Если [«Ситуация в системе» = «№ 1»], то [«Программа управления  $\langle Y_{II}(t), U_{IPI}(t), U_{2PI}(t) \rangle$ » = «№ 1»].»

Программатор просматривает существующие данные из рабочей памяти, распознает ситуацию на момент включения режима «нагрев» и выбирает соответствующее правило из базы знаний, а затем отправляет конкретную программу в блок реализации программного движения.

Инженер по знаниям наполняет БЗ через систему ввода информации (СВИ) и редактор БЗ путем извлечения, структурирования и формализации знаний опытного газовщика (эксперта), с привлечением дополнительных источников знаний (натурных данных, также отражающих действия управленческого персонала, технологических инструкций). Формализация знаний осуществляется в явном виде с помощью продукционного способа путем решения задачи оптимизации траектории движения системы следующим образом: 3.1) Распознается ситуация на объекте по информативным признакам (например, «вид топлива» = «природный газ» или «доменный газ» или «смешанный газ», а также его калорийность, схема включения ВН) в соответствие которой ставится множество ретроспективно фиксированных рациональных структурно близких траекторий (обеспечивающих соблюдение технологических, экономических и экологических требований) контролируемых переменных  $\langle \tilde{Y}(t), \tilde{U}_1(t), \tilde{U}_2(t) \rangle$ . 3.2) Из полученного множества реализаций процесса нагрева  $\langle \tilde{Y}(t), \tilde{U}_1(t), \tilde{U}_2(t) \rangle$  выбирается одна типопредставительная (Т) реализация  $\langle \tilde{Y}^T(t), \tilde{U}_1^T(t), \tilde{U}_2^T(t) \rangle$ , соответствующая максимальной близости к многомерной расчетной медиане, что обеспечивает ослабление влияния неконтролируемых возмущений в натурной типопредставительной реализации. 3.3) В отобранной реализации  $\langle \tilde{Y}^T(t), \tilde{U}_1^T(t), \tilde{U}_2^T(t) \rangle$  выделяется низкочастотная составляющая. Полученный результат рассматривается в качестве программного движения системы, рационального в условиях рассматриваемой ситуации, если он удовлетворяет эксперта.

Газовщик, наблюдая через систему отображения информации (СОИ) за ходом процесса, может в ручном режиме через пульт управления (ПУ) вмешиваться в работу агрегата.

Для сравнительного анализа предлагаемого нейродвухкального регулятора с типовыми регуляторами (регулятор Смита, регулятор Ресвика, ПИ-регулятор) выполнено пересчетное моделирование с выделением характерных типопредставительных ситуаций, возникающих по ходу технологического процесса. Моделирование показало, что предлагаемый регулятор эффективнее типовых в среднем на 10 – 20 % (по критерию  $R_N(t) = ((\sigma_0(t) - \sigma_N(t)) / \sigma_0(t)) 100\%$ , где  $\sigma_0(t)$ ,  $\sigma_N(t)$  – среднеквадратическая ошибка реализации программного движения при отсутствии регулирования и при использовании N-го варианта регулятора) за счет использования в нем имитационной нелинейной ситуационно поднастраиваемой нейросетевой модели объекта, ускоренного поиска оптимального варианта управления, учитывающего прогноз контролируемых внешних воздействий и приведенного возмущения.

## Библиографический список

1. Кулаков С.М. Принцип управления с прогнозированием: подходы к реализации и структуры систем: Препринт / С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь, В.Б. Трофимов – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – 63 с.
2. Мышляев Л.П. Прогнозирование в системах управления: Монография / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко – Новокузнецк: СибГИУ, 2002. – 348 с.

УДК 519.876.5

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О РЕЗУЛЬТАТАХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

ВЕРЁВКИН В.И., ИСМАГИЛОВА О.М., АТАВИН Т.А.

*Кузбасская государственная педагогическая академия,  
г. Новокузнецк*

Кузбасская государственная педагогическая академия совместно с Инженерным центром АСУ ТП ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» выполняет работу по созданию верхней части информационной системы управления внепечной обработкой стали в агрегате «Печь-кош». Работа выполняется в рамках гранта Губернатора Кемеровской области для поддержки молодых учёных – кандидатов наук 2007 года на тему «Моделирование электромагнитной гидродинамики при внепечной обработке стали и электрошлаковом литье, сварке и наплавке».

Математическая постановка задачи вынужденного конвективного теплообмена расплава стали в ковше при внепечной обработке включает учёт действия струй нейтрального газа, вдуваемого через пористые вставки в днище ковша, либо через погружную продувочную фурму, а также пондеромоторных сил электромагнитного поля трёхфазного электроподогрева.

Согласно этой постановке электроды системы электроподогрева условно представлены электродным кольцом, симметрично расположенным относительно оси симметрии ковша с шириной, равной  $2R_0$ .

Рассмотрим описание поведения расплава в центральном сечении ковша, проходящем через ось его симметрии [1 – 4].

Структура модели.

$$\begin{cases} \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial \omega}{\partial z} - g\omega \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r \text{Re}} \frac{\partial (r\omega)}{\partial r} - u\omega \right) + \left( \frac{\partial f_r}{\partial z} - \frac{\partial f_z}{\partial r} \right), \\ \frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\text{Re Pr}} \frac{\partial \Theta}{\partial z} - g\Theta \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r}{\text{Re Pr}} \frac{\partial \Theta}{\partial r} - u\Theta r \right) + \left( \frac{1}{qc\rho v \Delta T_R} \right) j^2, \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + r \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) = -\omega r, \end{cases} \quad (1)$$

$$\rho = \rho_0[1 - \beta(T - T_0)], \quad (2)$$

$$\vec{j} = \vec{j} \times \vec{B}, \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad \vec{\nabla} \times \vec{D} = \rho_q, \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = 0, \quad (3)$$

$$\vec{D} = \xi_0 \xi \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}, \quad \vec{j} = q \vec{E}, \quad (4)$$

при граничных условиях:

1.  $\alpha_{cm}, \alpha_{cn}, \alpha_d$ . 2.  $T_9(r, z)$ . 3.  $T_{нач}(r, z)$ . 4.  $U_{xx} = 294,4-530,3$  В. 5.  $R_{кц} \in [0,09; 0,14]$  Ом. 6.  $R_k = 1875$  мм,  $H_k = 3960$  мм. А также граничных условиях по  $u$ ,  $\mathcal{G}$ ,  $\Psi$ . Граничные условия по  $\omega$  не задаются. Используется условие Грязнова-Полежаева.

Где  $\tau \in [1, k]$  – безразмерное дискретное время,  $k$  – число шагов дискретизации по времени,  $t$  – непрерывное время;  $u$  и  $\mathcal{G}$  – проекции безразмерной скорости движения расплава на оси  $r$  и  $z$ ;  $f_r$  и  $f_z$  – проекции на те же оси объёмной пондеромоторной силы;  $\Theta$  – безразмерная температура;  $Gr, Pr$  – числа Грасгофа и Прандтля;  $\Psi$  – функция тока, связанная с компонентами скорости соотношениями:

$$\omega = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial r} \quad \text{— функция вихря скорости} \quad (5)$$

$$u = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial z}, \quad \mathcal{G} = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r}, \quad (6)$$

$\vec{j}$  – плотность тока;  $\vec{B}$  – магнитная индукция;  $\vec{E}$  – напряжённость электрического поля;  $\vec{H}$  – напряжённость магнитного поля;  $\rho_q$  – объёмная плотность электрических зарядов;  $\vec{D}$  – электрическое смещение;  $\xi_0$  – электрическая постоянная;  $\xi$  – диэлектрическая проницаемость расплава стали;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\mu$  – магнитная проницаемость расплава стали;  $R_{кц}$  – сопротивление короткой цепи;  $q$  – удельная электропроводность расплава стали;  $c$  – удельная теплоёмкость расплава стали при постоянном давлении;  $\rho_0, \rho$  – плотность расплава стали при базовой температуре  $T_0 = 1600$  °С и текущая;  $\nu$  – кинематическая вязкость расплава стали;  $R$  – определяющий размер;  $\Delta T_R$  – изменение температуры  $T$  на характерном размере;  $\beta$  – коэффициент объёмного расширения расплава стали;  $\alpha_{cm}, \alpha_{cn}, \alpha_d$  – безразмерные аналоги плотностей тепловых потоков в боковую стенку ковша, через свободную поверхность и в днище ковша;  $T_9(r, z)$  – температура дуги;  $T_{нач}(r, z)$  – начальное температурное поле расплава стали;  $U_{xx}$  – фазное напряжение холостого хода;  $R_k$  – средний радиус ковша;  $H_k$  – высота расплава стали в ковше;  $\varepsilon = 218$  мм – эксцентриситет размещения в плане ковша двух донных продувочных сопел;  $L_{mc} = 785$  мм – межсопельное расстояние;  $i, \gamma$  – дискретные координаты, соответствующие непрерывным координатам  $r$  (ось радиусов) и  $z$  (ось аппликата, направленная вверх от днища

ковша по его оси);  $n, m$  – дискретные размеры моделируемой области;  $s \in [1; S]$ ,  $s, S$  – номер и общее число опытов.

Модель выполнена в дивергентной форме, в полных уровнях в цилиндрической системе координат. Для численного решения задачи она представляется консервативным разностным аналогом второго порядка точности с использованием схемы расщепления.

Требуется с использованием модели определять оптимальные длительность гомогенизации и параметры режима внепечной обработки стали, удовлетворяющие условию

$$(F_{\tau} - F_{\tau-1}) \leq \Delta F_{зад} \Rightarrow \tau = \tau_2, \quad (7)$$

$$F_{\tau} = \frac{1}{Smn-1} \sum_{s=1,S} \sum_{\gamma=1,m} \sum_{i=1,n} [T(i, \gamma, \tau, s) - T_{cp}(i, \gamma, \tau, s, \sigma)]^2, \quad (8)$$

при краевых условиях:

$$1. \frac{2}{3} V_{max} V^2 + V_0 V^2 = \frac{3}{4} \frac{Q P_a T_z}{S_B \rho T_{z0}} \ln \left( \frac{P_a + \rho g H}{P_a + \rho g (H - z)} \right), \quad (9)$$

$$2. Q \in [18; 50] \text{ м}^3/\text{ч}. 3. H_{az}(r, z). 4. \Delta F_{зад}.$$

где  $\Delta F_{зад}$  – заданное значение критерия оптимизации;

$Q$  – расход газа, вдуваемого через две донные пористые вставки;

$T_z, T_{z0}$  – температура газа на входе в жидкость и его средняя температура;

$V_0, V_{max}, V$  – начальная, максимальная и текущая скорость восходящего потока стали;

$P_a$  – атмосферное давление;

$g$  – ускорение свободного падения;

$S_B$  – площадь поперечного сечения восходящего потока;

$T_{cp}(i, \gamma, \tau, s, \sigma)$  – средняя температура стали в  $\sigma$ -м классе организационно-технологических ситуаций (ОТС);

$R_э = 508$  мм – радиус электрода;

$R_{эк} = 950$  мм – радиус электродного кольца;

$H_{az}(r, z)$  – распределение азимутальной проекции напряжённости магнитного поля по границам расплава;  $U$  – рабочее фазное напряжение системы подогрева;  $\tau_2$  – длительность гомогенизации.

Рабочее фазное напряжение находится по закону Ома для участка цепи, после решения уравнения:

$$U_{xx} - a_1 I - a_2 I^2 = IR_{кц}, \quad (10)$$

где  $I$  – рабочий фазный ток;

$a_1, a_2$  – коэффициенты, определяемые по внешней характеристике источника питания.

Определенную сложность при представлении информации о результатах моделирования технологом сталеплавильного производства составила визуализация температурных и эквитоковых полей.

Задача построения температурных и эквитоковых линий формулируется следующим образом. Даны решетчатые уровни поля в регулярно распределенных по плоскости чертежа точках. Требуется построить изолинии, соответствующие определенным уровням. В общем случае эти линии могут не проходить через точки решетки.

Все дискретное представление моделируемого пространства вертикальными и горизонтальными отрезками разделяется на несколько равных частей. Каждый отрезок принимается за базовую ось. Каждая ось проходит по центрам соответствующих ячеек разбиения. Эюра скоростей строится в направлении перпендикуляра к оси. Причём численное значение скорости в каждой точке эюры находится путём линейной интерполяции.

Для удобства пользователей системы в отдельных окнах проиллюстрировано положение представляемого сечения. На трёх главных проекциях ковша со сталью проводятся линии в соответствии с расположением сечения в моделируемом пространстве.

Наши исследования показали, что построение центральных сечений теплового и эквитокового полей с применением сплайнов занимает более 5-ти минут машинного времени. Кроме того, сами изолинии могут содержать результаты действия возмущений. На изолиниях функции тока жидкости не отображаются стрелки направления циркуляции.

Нами разработан продольно-поперечный алгоритм визуализации полей, представленных уровнями в ограниченном числе точек. При моделировании процесса, исследуемый объём делится на ячейки, в центрах которых и рассчитываются уровни поля. На вход продольно-поперечного алгоритма визуализации передаётся массив двумерный массив уровней поля в центрах ячеек – растр уровня. Изолинии любого поля строятся путём ряда интерполяций его уровня на основе значений в точках растра. Рассмотрим изображённый на рисунке 1 прямоугольник  $ABCD$ , стороны которого соединяют центры ячеек.

Оси  $x, y$  соответствуют координатным осям генерируемого изображения,  $l$  – ось уровня поля. Прямоугольник  $ABCD$  лежит в плоскости  $xu$ . Отложим от его вершин параллельно оси  $l$  известные уровни поля  $AA', BB', CC'$  и  $DD'$ . Далее проведём параллельно оси  $y$  отрезок  $EF$  с концами на отрезках  $AB$  и  $CD$ . Из точки  $A'$  проведём перпендикуляр  $A'I$  к отрезку  $BB'$ , а из точки  $D'$  – перпендикуляр  $D'J$  к отрезку  $CC'$ . Треугольник  $A'KE'$  подобен треугольнику  $A'IB'$ , а треугольник  $D'OF'$  – треугольнику  $D'JC'$ .

Тогда:

$$KE' = \frac{IB' \cdot A'K}{A'I} = \frac{IB' \cdot AE}{AB} = \frac{(BB' - BI) \cdot AE}{AB} = \frac{(BB' - AA') \cdot AE}{AB}, \quad (11)$$

$$OF' = \frac{JC' \cdot D'O}{D'J} = \frac{JC' \cdot DF}{DC} = \frac{(CC' - CJ) \cdot DF}{DC} = \frac{(CC' - DD') \cdot DF}{DC}. \quad (12)$$

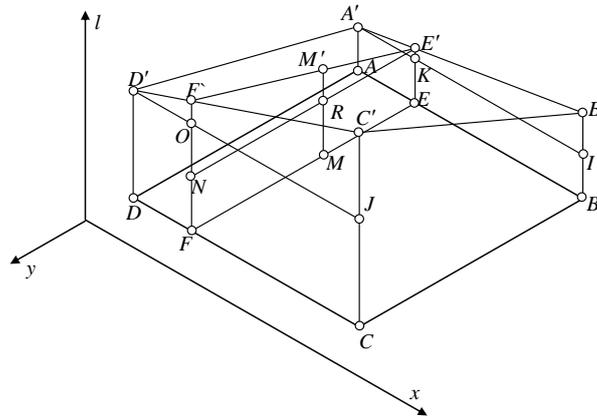


Рисунок 1 – Схема первого прохода

С учетом полученных соотношений, перейдем от приращений к полным уровням:

$$EE' = EK + KE' = AA' + \frac{(BB' - AA') \cdot AE}{AB}, \quad (13)$$

$$FF' = FO + OF' = DD' + \frac{(CC' - DD') \cdot DF}{DC} = DD' + \frac{(CC' - DD') \cdot AE}{AB}. \quad (14)$$

Треугольник  $E'RM'$  подобен треугольнику  $E'NF'$ . Тогда:

$$EM = E'R = \frac{E'N \cdot NF'}{RM'} = \frac{EF \cdot (FF' - FN)}{(MM' - MR)} = \frac{AD \cdot (FF' - EE')}{(MM' - EE')}. \quad (15)$$

В реальной процедуре визуализации поля вместо этих построений выполняются только вычисления длин отрезков. Не строится и сам прямоугольник  $ABCD$ , но найденная точка  $M$  отмечается на чертеже. Из множества этих точек и состоят сами изолинии. Причём, все действительные построения выполняются в растровом режиме, а отрезок  $EF$  сдвигается в цикле от стороны  $AD$  прямоугольника  $ABCD$  до его стороны  $BC$ . Вычисления же выполняются в формате с плавающей запятой.

При однопроходном построении изолиний таким способом придётся или определять шаг цикла сдвига отрезка  $EF$  на основании угла наклона к оси  $x$  секущей изолинии, проходящей через соседние точки  $M$ , или в самой изолинии останутся разрывы. Такой вариант требует использования дополнительного цикла, что усложняет программу и может приводить к замедлению её работы. Мы предлагаем другой способ. Разрывы появляются. Если угол наклона к оси  $x$  секущей к изолинии, проходящей через соседние её точки. Этот эффект объясняется тем, что расстояние между такими точками по оси  $y$  больше, чем по  $x$ . Но если расстояние между соседними точками по

любой оси больше одного пикселя, то линия имеет разрыв. В предлагаемом алгоритме шаг цикла по абсциссе отрезка  $EF$  принят равным одному пикселю, а разрывы заполняются на втором проходе с использованием вспомогательного скользящего отрезка, параллельного оси  $x$ . Схема второго прохода показана на рисунке 2.

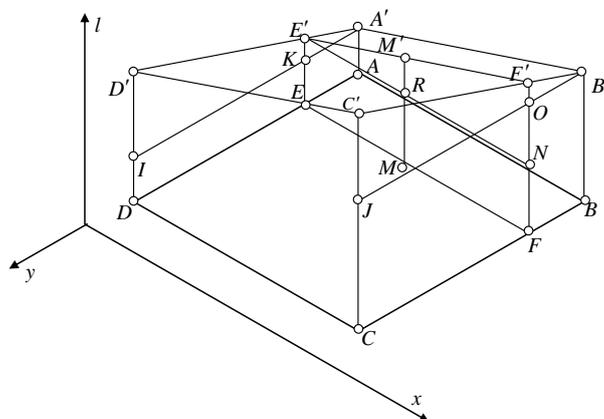


Рисунок 2 – Схема аппроксимации на втором проходе

Второй проход, аналогично первому, оставляет разрывы в линиях там, где угол наклона секущей к оси  $y$  больше  $45^0$ . Но эти разрывы уже гарантированно заполнены при первом проходе, так как в тех же местах угол наклона секущей к оси  $x$  меньше  $45^0$ . Наоборот, там, где разрывы остались при первом проходе, они будут заполнены при втором.

Второй проход – это зеркальное относительно плоскости  $y = x$  повторение первого прохода. Тогда, по аналогии с выражениями (11) – (15) на втором проходе:

$$KE' = \frac{ID' \cdot A'K}{A'I} = \frac{(DD' - DI) \cdot AE}{AD} = \frac{(DD' - AA') \cdot AE}{AD}, \quad (16)$$

$$OF' = \frac{JC' \cdot B'O}{B'J} = \frac{(CC' - CJ) \cdot BF}{BC} = \frac{(CC' - CJ) \cdot AE}{AD}, \quad (17)$$

$$EE' = EK + KE' = EK + \frac{(DD' - AA') \cdot AE}{AD} = AA' + \frac{(DD' - AA') \cdot AE}{AD}, \quad (18)$$

$$FF' = FO + OF' = FO + \frac{(CC' - CJ) \cdot AE}{AD} = BB' + \frac{(CC' - CJ) \cdot AE}{AD}, \quad (19)$$

$$EM = E'R = \frac{E'N \cdot RM'}{NF'} = \frac{EF \cdot (MM' - MR)}{FF' - FN} = \frac{AB \cdot (MM' - EE')}{FF' - EE'} = \frac{AB \cdot (MM' - AA')}{FF' - AA'}. \quad (20)$$

На рисунках 1 и 2 все уровни поля различны. На самом деле возможны равенства:  $AA' = BB'$ ,  $CC' = DD'$ ,  $AA' = DD'$ ,  $BB' = CC'$  и  $EE' = FF'$ . Тогда расчётное распределение поля, соответственно на отрезках  $AB$ ,  $CD$ ,  $AD$ ,  $BC$ , или  $EF$ , считается равномерным. При равномерном расчётном распределе-

нии поля на отрезке  $AB$ ,  $CD$ ,  $AD$ , или  $BC$  формулы (13) и (18) вырождаются в равенство  $EE' = AA'$ , а соотношения (14) и (19) – в равенства  $FF' = DD'$  и  $FF' = BB'$ . Такие случаи в программе не анализируются, так как вторые слагаемые выражений (13-14) и (18-19) оказываются равными нулю. Случаи равномерного расчётного распределения поля на отрезке  $EF$  обнаруживаются логическим оператором и обрабатываются отдельно. При равномерном распределении поля на отрезке  $EF$ , изолиния, уровень которой не совпадает с уровнем поля в точке  $E$ , не может пересекать этот отрезок. В том же случае изолинию, уровень которой совпадает с уровнем поля в точке  $E$ , проводим через середину отрезка  $EF$ . Наши исследования показали, что при равномерном расчётном распределении поля на отрезке  $EF$  и неравномерном – на соседних с ним отрезках той же ориентации, поставленная таким образом точка, заполняет разрыв линии. На соседних с  $EF$  отрезках той же ориентации расчётное распределение поля может оказаться равномерным только при равенстве всех четырёх уровней в углах прямоугольника  $ABCD$ . Такие случаи обнаруживаются отдельным логическим оператором. В этом случае никакие построения в прямоугольнике  $ABCD$  не выполняются. Случаев появления из-за этого разрывов в линиях не обнаружено. Третий логический оператор отсекает случаи, когда точка  $M$  оказывается за пределами отрезка  $EF$ . Причем, анализируются не координаты точки  $M$ , а уровни  $EE'$ ,  $FF'$  и  $MM'$ . Расчёты по формулам (15) и (20) и построения выполняются если  $EE' \leq MM' \leq FF'$ , или  $EE' \geq MM' \geq FF'$ . Если все или некоторые из треугольников  $A'IB'$ ,  $D'JC'$ ,  $A>ID'$ ,  $B'JC'$  и  $E'NF'$  оказываются перевернуты, то длины их вертикальных катетов принимаются отрицательными. Такие случаи не выявляются. При этом длины вертикальных катетов получаются отрицательными при вычитании из меньшего уровня поля большего. Порядок операций алгоритма в связи с этим не меняется.

Хотя алгоритм разрабатывался для показанного на рисунках 1 и 2 случая, когда все уровни поля положительны, но наши исследования показали его инвариантность относительно сдвига нуля в любом направлении. Результат при сдвиге нуля не меняется, даже если часть или все уровни оказываются отрицательными. Поэтому все величины просто приняты знаковыми, а специальный анализ знаков уровней поля в программе не предусмотрен.

*Выводы.* Предложен способ графического представления информации о состоянии расплава стали. Опробование способа в Инженерном центре АСУ ТП ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» показало его высокую работоспособность.

#### Библиографический список

1. Вережкин В.И. Перспективы решения задач тепломагнитной гидродинамики повышенной размерности / В.И. Вережкин, Т.А. Атавин. // Материалы международной научно-технической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томский институт оптики атмосферы СО РАН. – 2004. – С. 141 – 145.

2. Атавин Т.А. Моделирование тепломагнитной гидродинамики существенно неизоморфных металлургических объектов с развитой формой области решений. / Атавин Т.А. // Современная металлургия нового тысячелетия. Труды всероссийской научно-практической конференции. – Липецк. – 2005. – С. 17 – 22.
3. Атавин Т.А. Перспективы трехмерного моделирования объектов с развитой геометрией. / Атавин Т.А. // Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии. // Труды всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: СибГИУ – 2006. – С. 154 – 157.
4. Веревкин В.И. Моделирование тепломагнитной гидродинамики распределенного объекта с учетом обратной связи по потребляемой мощности. / В.И. Веревкин, Т.А. Атавин, П.П. Лизогуб. – В сб. трудов 2-й Всероссийской научно-практической конференции «Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии», посвященной 25-летию кафедры «Информационные технологии в металлургии». – Новокузнецк: СибГИУ, 2006. – С. 91 – 94.

УДК 519.6

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОСТАВЛЕНИЕ РАСПИСАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ ВУЗА С УЧЁТОМ ТРУДНОСТИ ДИСЦИПЛИН И УТОМЛЯЕМОСТИ СТУДЕНТОВ**

ВЕРЁВКИН В.И., ИСМАГИЛОВА О.М., АТАВИН Т.А.

*Кузбасская государственная педагогическая академия  
г. Новокузнецк*

Составление расписания учебных занятий с учётом трудности дисциплин в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами позволяет правильно перераспределять нагрузку на студентов в течение дня, недели и всего семестра.

В результате составления расписания занятия располагаются в определённой последовательности. С учётом сдвоенности часов занятий в вузах, планируемые дисциплины по видам занятий (лекционным, лабораторным, практическим) будем выражать в условных единицах – парах занятий. Учебные занятия планируются по предварительно собранной информации об условиях составления расписания – ресурсах, которые необходимы для успешного проведения этих занятий, и ограничениях. В числе ресурсов: списки групп, преподавателей и аудиторий. Ограничения делятся на несколько классов: 1) задаваемые нормами проведения занятий (условиями разделения групп на подгруппы, физической вместимостью аудиторий, допустимой продолжительностью занятий), 2) обусловленные графиком проведения занятий (числом задействованных дней недели, рациональной последователь-

ностью планирования различных дисциплин и видов занятий), 3) задаваемые логическими условиями (закреплением каждой аудитории за предметами и преподавателями, предназначением аудиторий для проведения определённых видов занятий, занятостью преподавателей согласно картам поручений преподавателей, доступностью аудиторий, пожеланиями преподавателей согласно сведениям к составлению расписания).

Санитарно-гигиенические нормы отражаются в следующих условиях: допустимой продолжительности занятий, числе задействованных дней недели, рациональной последовательности планирования различных дисциплин и видов занятий в течение суток, недели и семестра. Дисциплины и их отдельные темы имеют различную трудность, влияющую на утомляемость студентов. В свою очередь, утомляемость отрицательно сказывается на усвоении учебного материала. Поэтому рациональная последовательность дисциплин и видов занятий в течение семестра должна учитывать изменения среднеинтегрального ранга трудности занятий от одной дисциплины к другой.

Разные дисциплины могут быть взаимосвязаны по самому учебному материалу (иметь междисциплинарные связи). Например, физика использует математический аппарат, а математические понятия имеют физический смысл.

В компьютерной программе для автоматизированного составления расписания междисциплинарные связи могут быть описаны с помощью графа перекрестных ссылок между различными темами. Трудность может быть представлена «коэффициентом трудности» для каждого кортежа в отношении «преподаватель – тема». Причём, трудность усвоения материала каждого данного занятия зависит от его логической взаимосвязи с материалом предыдущих занятий. Например, если вскоре после лекции следует практическое или лабораторное занятие на ту же тему, то это снижает трудность усвоения материала занятия и способствует его закреплению.

Задача составления расписания учебных занятий относится к классу комбинаторных и предъявляет повышенные требования к машинным ресурсам. Решение задачи путём полного перебора и сопоставления всех возможных вариантов расписания практически не представляется возможным.

В рамках составления расписания занятий мы выделяем задачу формирования допустимого (не обязательно оптимального) расписания вновь, удовлетворяющего при этом всем наложенным ограничениям, и задачу улучшения имеющегося расписания. Обе задачи много проще задачи составления оптимального расписания, а их решение требует меньшего расхода памяти и числа операций.

В ходе составления расписания учебных занятий последовательность наложения ограничений может быть различной: можно начинать от ограничений, связанных с преподавателями, либо с подгруппами, либо с дисциплинами, либо с аудиториями. Однако мы предлагаем решать задачу, основываясь на одновременном учёте нескольких ограничений, связанных между со-

бой ранее подготовленным объектом – композитной сущностью, уже описывающей связь преподавателей, дисциплин и подгрупп студентов. В качестве такой композитной сущности предлагается использовать строку карты поручений расчета часов по дисциплине для конкретного преподавателя.

Полный массив таких строк по всем задействованным преподавателям мы предлагаем сортировать с учетом количества ограничений, выявленных для каждого данного преподавателя в сведениях к составлению расписания. Одновременно предлагается сортировка строк по объему  $P_{np}$  учебной нагрузки преподавателя на планируемый семестр и по семестровой учебной нагрузке студентов  $P_{ст}$  данных специальности и курса согласно учебному плану. Чем больше объёмы учебной нагрузки  $P_{ст}$  и  $P_{np}$  и выше число ограничений, содержащихся в сведениях к составлению расписания данного преподавателя, тем выше номер строки в ранжированном списке строк. Сортировка осуществляется по скаляризованному параметру в виде аддитивной взвешенной свёртки с нормированием на диапазоны изменений соответствующих составляющих показателя:

$$k_k = a_{кст} \frac{P_{ст} - \min(P_{ст})}{\max(P_{ст}) - \min(P_{ст})} + a_{кпр} \frac{P_{np} - \min(P_{np})}{\max(P_{np}) - \min(P_{np})} + a_o \frac{N_o - \min(N_o)}{\max(N_o) - \min(N_o)}, \quad (1)$$

где  $k_k$  – скаляризованный параметр сортировки строк карт поручений;

$N_o$  – число ограничений, выявленных для данного преподавателя в сведениях к составлению расписания;

$a_{кст}$ ,  $a_{кпр}$ ,  $a_o$  – веса,  $a_{кст} + a_{кпр} + a_o = 1$ .

Для сокращения суммарной длительности окон планируемого расписания (свободного времени в выписке из расписания между запланированными парами занятий), следует ввести для каждого кортежа  $L$  в отношении «преподаватель – номер пары занятия – подгруппа» переменный коэффициент предпочтения номера пары занятия. Этот коэффициент зависит от интервалов между данным и уже занятыми номерами пар занятий для соответствующих подгрупп и преподавателя. Исключение касается лишь тех кортежей, в которые входят уже занятые номера пар занятий – в них атрибут коэффициента предпочтения не заполняется. Номера пар занятий предварительно сортируются по параметру, пропорциональному коэффициенту предпочтения. Результирующий коэффициент предпочтения вычисляется путём мультипликативной свёртки коэффициентов предпочтения, связанных с двумя кортежами  $K$  и  $M$  соответственно в отношениях «преподаватель – номер пары занятия» и «подгруппа – номер пары занятия»:

$$k = (k_{np})^{a_{np}} \times (k_{cm})^{a_{cm}}, \quad (2)$$

где  $k$  – результирующий коэффициент предпочтения  $k_{np} \in [1, n_{np} - 1]$  – ко-

эффицент предпочтения для преподавателя,  $k_{cm} \in [1, n_{нар} - 1]$  – коэффициент предпочтения для подгруппы,  $a_{np} \geq 1$ ,  $a_{cm} > 1$  – действительные показатели степеней,  $n_{нар}$  – максимальное число пар занятий в сутках.

Коэффициенты предпочтения  $k_{np}$ ,  $k_{cm}$  определяются по формулам:

$$k_{np} = n_{нар} - N_{unp}, \quad (3)$$

$$k_{cm} = n_{нар} - N_{uct}, \quad (4)$$

где  $N_{unp}$ ,  $N_{uct}$  – суммарная продолжительность окон (в пределах суток) после планирования пары занятий преподавателю или подгруппе.

В кортежи  $K$  и  $M$  входит тот же номер пары занятия, что и в кортеж  $L$ . Примеры задания значений коэффициентов предпочтения приведены в таблицах 1 и 2. Прочерки стоят в строках, соответствующих номерам пар занятий, на которые запланированы занятия.

Таблица 1 – Пример назначения коэффициентов предпочтения без окна

№ пары занятия	Коэффициенты предпочтения $k_{np}$ , $k_{cm}$
1	1
2	2
3	3
4	–

Таблица 2 – Пример назначения коэффициентов предпочтения с окном

№ пары занятия	Коэффициенты предпочтения $k_{np}$ , $k_{cm}$
1	–
2	3
3	–
4	2

С целью снижения вероятности возникновения окон у подгрупп в готовом расписании, коэффициенты предпочтения для них входят в свёртку в большей степени, чем для преподавателей. Кроме того, показатель степени  $a_{np}$  коэффициента предпочтения преподавателя  $k_{np}$  зависит от приоритета конкретного преподавателя: чем выше приоритет, тем больше показатель степени. Для практических занятий коэффициенты предпочтения суммируются перед возведением в степень и умножением по всем подгруппам группы, а для лекционных – по всем подгруппам потока.

Для учёта утомляемости студентов на этапе формирования расписания, в параметре сортировки номеров пар занятий следует учесть произведение коэффициента трудности на коэффициент утомляемости. Причём, коэффициент утомляемости должен зависеть от времени в пределах учебного

года, недели, суток и номера пары занятия по порядку за текущие сутки для данной подгруппы. Параметр сортировки номеров пар занятий вычисляется по формуле:

$$k_{nap} = \frac{k}{k_m \times k_y}, \quad (5)$$

где  $k_{nap}$  – параметр сортировки номеров пар занятий;

$k$  – коэффициент предпочтения;

$k_m$  – коэффициент трудности;

$k_y$  – коэффициент утомляемости.

На этапе улучшения полученного расписания сортировка отдельных элементов записей расписания продолжается по общесистемному критерию. Для упрощения вычислений критерий принят в форме аддитивной свертки локальных составляющих. В качестве последних использованы: степень выполнения заявок преподавателей, суммарные размеры окон для преподавателей и отдельно – для студентов, равномерность распределения занятий по дням недели, полнота использования посадочных мест в аудиториях, число переходов групп (подгрупп) между корпусами, для преподавателей – суммарное число дней недели с окнами. Кроме того, в критерий дополнительно включены переменные, характеризующие интегральное значение степени соответствия реального графика изменения утомляемости по данному дню недели и подгруппе (группе) рекомендуемому графику, составленному согласно гигиеническим требованиям. Реальная утомляемость тесно коррелирует с трудностью соответствующих предметов, а также со среднегрупповыми возможностями студентов и уровнем мастерства педагога [1, 4]. Определенное воздействие на степень утомляемости также оказывают: интенсивность подачи материала, мотивированность студентов и межпредметные связи. Еще одно дополнение критерия содержит интегральную составляющую, отражающую график изменения утомляемости обучающихся по дням недели.

При формировании расписания возможно образование тупиковой ветви решения, то есть такой, при которой дальнейшее продолжение процесса формирования расписания с учётом всех жестких ограничений окажется невозможным. В этом случае запускается операция модификации имеющихся записей с целью преобразования данной ветви и разрешения тупиковой ситуации.

При составлении каждого данного расписания оказываются полезными логические условия, которые были успешно использованы в предыдущих расписаниях учебных занятий. Эти логические условия в форме представленного в удобном для последующего использования макете, и выполняют функцию макросов – дополнительных программ, автоматизирующих управление приложением. Их поддержка придает приложению саморасширяемость, обеспечивая алгоритму составления расписания возможность добав-

ления новых функций без внесения изменений в исходный текст программы и ее повторной трансляции. Примером могут служить, представляемые графиками, макеты утомляемости в пределах суток, недели или учебного года. Используются макеты закрепления аудиторий за дисциплинами и преподавателями (в форме таблиц). Оба эти макета являются программными средствами длительного использования.

Используется реляционная модель данных. Это позволяет при составлении расписания применить удобные СУБД со стандартным программным интерфейсом. Однако, в сочетании с предлагаемым алгоритмом составления расписания целесообразнее применение объектной модели данных и соответствующих полиморфичных классов объектов. Причиной этого является необходимость хранения в некоторых объектах вариативных ссылок на объекты изменяемого типа. При явном табличном представлении таких данных разные строки (записи) отдельных таблиц содержат разные наборы атрибутов отношения, что не допускается в реляционной модели данных. Для разрешения этого противоречия, информацию о контингенте студентов предлагается хранить в виде иерархического списка подгрупп. Поток делится на группы, а любая группа – на подгруппы. Данная структура не зависит от численности конкретных групп студентов и числа групп в потоках. Каждая вариативная ссылка заменяется ссылкой на вспомогательный линейный список подгрупп, связанный с содержащем ее объектом. При этом каждый такой список формируется в соответствии с требуемым вариантом ссылки на основе общего иерархического списка подгрупп. Формируемая параллельно с получением самого расписания, таблица занятости студентов связывает булевый флаг занятости с каждой подгруппой, явно не учитывая иерархию списка подгрупп студентов. Но, иерархия указанного списка учитывается в ходе составления расписания при обработке таблицы занятости студентов. Эта таблица формируется только на основе самого расписания в процессе его составления. Таблицы занятости аудиторий и преподавателей составляются на основе исходных данных, в том числе сведений к составлению расписания, и обновляются на основе данных, получаемых в ходе планирования.

#### Библиографический список

1. Александрова, Н.Э. Трудность школьных учебных предметов как гигиеническая проблема [Текст] / Н.Э. Александрова, А.С. Седова, М.И. Степанова // Народное образование. – 2004. – № 7. – С. 119 – 122.
2. Галузин, К.С. Математическая модель оптимального учебного расписания с учётом нечётких предпочтений [Текст]: автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук / К.С. Галузин. – Пермь: ПГТУ, 2004. – 16 с.
3. Маслов, М.Г. Разработка моделей и алгоритмов составления расписаний в системах административно-организационного управления [Текст]: автореф. дисс. канд. тех., наук / М.Г. Маслов. – Москва: МГУПБ, 2004. – 24 с.
4. Степанова, М.И. С позиций сбережения детского здоровья: новые шкалы

трудности учебных предметов [Текст] / М.И. Степанова, И.Э. Александрова, А.С. Седова // Директор школы. – 2004. – № 4. – С. 87 – 91.

УДК 621.791:658.52.011.56

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА НОРМ ВРЕМЕНИ «НОРМИРОВЩИК»**

ПАВЛОВ Н.В., КРЮКОВ А.В.

*Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета  
г. Юрга*

Технической нормой времени на сварку называется время, устанавливаемое на выполнение данной сварочной операции при конкретных организационно-технических условиях и наиболее эффективном использовании всех средств, производства с учетом передового производственного опыта.

Разрозненность и неполнота сведений по расчету и нормированию времени технологической операции, вызывают трудности с точки зрения точности получаемых результатов у работников сварочного производства [1].

В результате чего, была поставлена задача по разработке автоматизированного приложения осуществляющего расчет норм времени технологической операции. Поставленная задача была решена за счет подключения в существующий комплекс «САПРТП» [2 – 4] приложения «Нормировщик».

Загрузка приложения осуществляется из основной программы «САПРТП». Нормирование осуществляется для каждой конкретной операции. Инженер-технолог выбирает операцию, которую в данный момент необходимо рассчитать и загружает «Нормировщик».

Следующим действием проектирования является внесение действий осуществляемых во время операции. При добавлении выполняемого действия открывается диалог выбора со списком доступных видов основных действий (рисунок 1).

После выбора действия происходит его отображение в навигаторе главного окна. Где также предусмотрены условия, позволяющие как удалять один, так и все объекты, а также менять их местами. Что дает возможность варьировать последовательность выполняемых действий, не приводя к потерям во времени.

После чего инженер-технолог осуществляет задание элементов входящих в состав операции, где они будут задействованы. При выборе объекта происходит загрузка диалога показывающего элементы спецификации (рисунок 2).

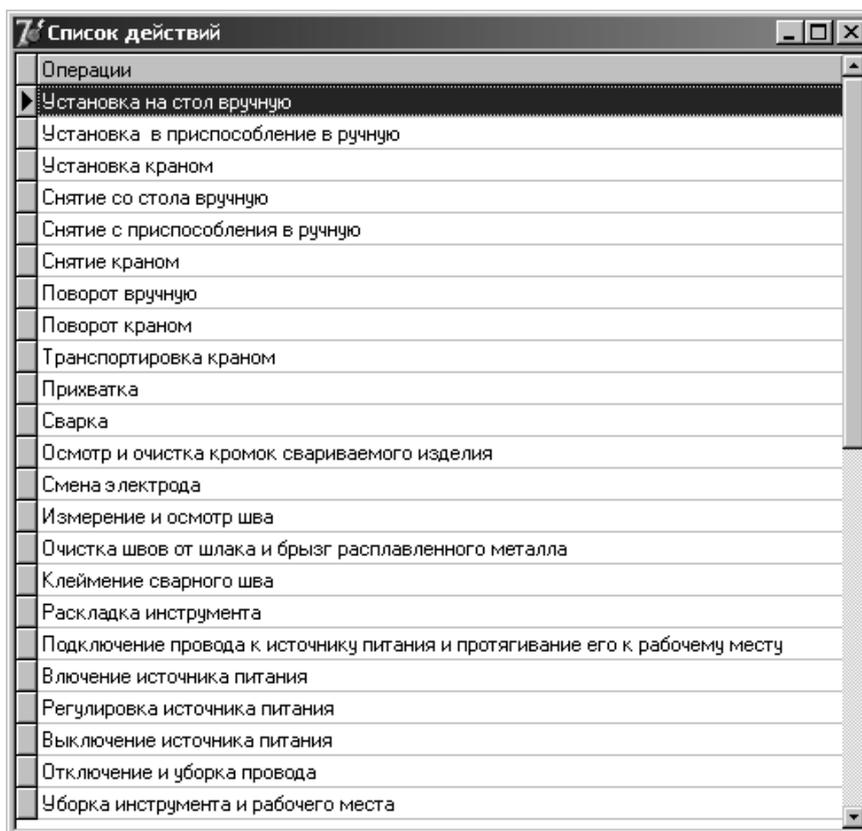


Рисунок 1 – Диалог выбора действия

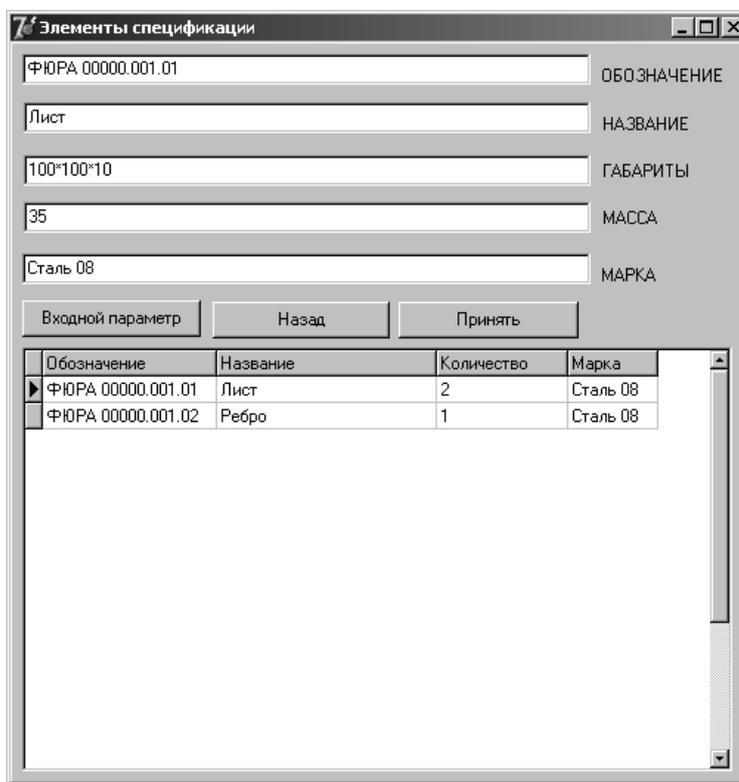


Рисунок 2 – Диалог выбора элемента спецификации

Здесь отображены все необходимые свойства: обозначение, название, габаритные размеры, масса, марка материала.

Основными же являются масса и габаритные размеры. На этих свойства построена работа созданного алгоритма предназначенного для фильтрации данных. По свойству «Масса» осуществляется загрузка списка всех удовлетворяющих условию данных, после чего инженер-технолог может, как принять данные, так и нет. Для этого ему необходимо нажать на кнопку отключения фильтрации, выбрать вариант, который ему необходим.

После чего информация о времени затрачиваемом на выполнение данного действия поступает в свойство объекта, запоминая его (рисунок 3).

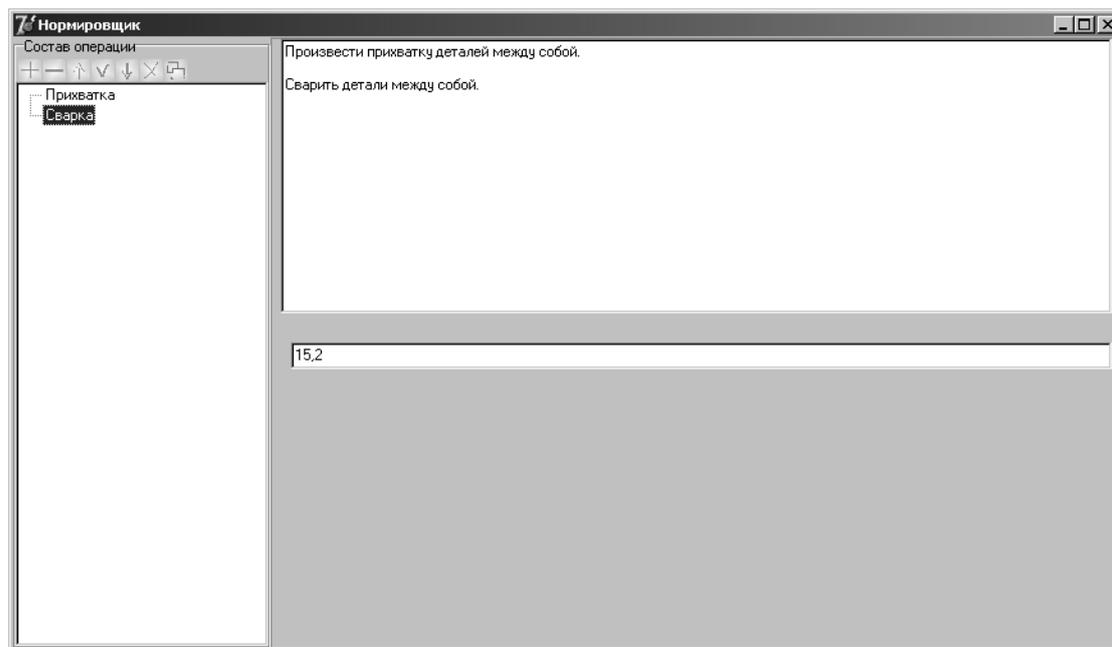


Рисунок 3 – Нормировщик с заполненными частями

Это позволит его в дальнейшем складывать и получать общее время операции.

#### Библиографический список

1. Гитлевич А.Д., Жмакин Д.Ф., Кланин И.Н. Техническое нормирование процессов дуговой электросварки в машиностроении.; Под ред. Хисина Р.И. – М.: Изд-во Москва, 1954. – 212 с.
2. Система автоматизированного проектирования технологического процесса сборки и сварки металлоконструкций Свидетельство № 2008612023 о государственной регистрации программ для ЭВМ / Павлов Н.В., Крюков А.В. от 23.04.08.
3. Павлов Н.В., Крюков А.В. Автоматизированный комплекс «САПРТП» // Труды VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии и экономика в машиностроении».-Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – С. 36 – 39.

4. Павлов Н.В., Крюков А.В. Графический редактор технологического процесса сборки сварки для автоматизированного комплекса «САПР ТП» // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество». – Новокузнецк, 2007. – С. 175 – 178.

УДК 621.791.7

## **ОПЫТ РАБОТ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ И УВЕЛИЧЕНИЮ РЕСУРСА КРАНОВЫХ КОЛЕС**

Соколов П.Д.

***ООО РТЦ «Сибирь»,  
Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк***

В условиях эксплуатации кранов в цехах предприятий, особенно в тяжелых условиях, колеса кранов теряют номинальные геометрические параметры в результате износа. Несимметричный износ поверхности катания у разных колес вызывает перекося крана в направлении движения, что увеличивает нагрузку на реборды. Превышение этой нагрузки предела текучести материала колеса приводит к значительному износу реборд или выдавливанию их за боковую поверхность.

Существующие технологии восстановления крановых колес на предприятиях нашего региона, в частности на металлургических заводах, с применением отечественных сварочных материалов – проволок НП 30ХГСА, НП 30Х10Г10, при наплавке под слоем флюса позволяют восстановить геометрические размеры и не более. Говорить о гарантированной стойкости кранового колеса, восстановленного по данной технологии, неразумно, поскольку в лучшем случае до очередной наплавки оно проработает 2 – 3 месяца. Учитывая эту ситуацию, наши специалисты несколько лет назад разработали и апробировали технологию восстановления крановых колес с применением в качестве наплавленного рабочего слоя специальных проволок типа MF 7-250-KNP (аустенитная Cr-Mn структура), обеспечивающая как твердость наплавленного слоя, так и ударную вязкость и трещиностойкость. Кроме того, рабочее упрочнение достигает 450 – 480 НВ (при наплавке по специальной технологии твердость составляет 220 – 240 НВ). Механическая обработка при применении соответствующего оборудования не сложна. Технология не требует последующей термической обработки. На протяжении четырех лет наше предприятие восстанавливает по данной технологии крановые колеса для Новокузнецкого алюминиевого завода Компании РУСАЛ. При ежегодном ремонте 20 – 25 единиц колес различных диаметров от 320 до 800 мм по поверхности катания, вторичного возврата на ремонт не было. При этом мы даем гарантию стойкости 1 год. Фактически крановое

колесо работает 3 – 4 года без вторичного ремонта.

В случае большого износа в целях удешевления, для восстановления геометрических размеров, применяем подслои, выполненный более дешевой и простой проволокой типа T38ZWN3. Вообще, весь процесс автоматической наплавки предусматривает применение самозащитных проволок, что позволяет вести наплавку в том числе и в «полевых условиях» без использования флюсов и защитных газов. Сам процесс достаточно технологичный, удобный и не требует применения специализированных установок, достаточно иметь манипулятор и полуавтомат с хорошими характеристиками, имеющий функцию обратной связи по току и напряжению.

*О материалах, точнее о проволоках.*

Мы применяли проволоки различных производителей Европы, качество в общем одинаковое и процесс наплавки от разных производителей проволок не чем друг от друга не отличается. Пытались применять проволоки российских производителей, но качество, именно в самозащитном варианте, оставляет желать лучшего, поэтому вынуждены были отказаться.

*Об экономике*

На самом деле восстановление кранового колеса обходится недешево. Гораздо дешевле процесс наплавки проволокой 30ХГСА под слоем флюса, но необходимая стойкость не обеспечивается и фактически одно и то же колесо наплавляется до 6 раз в год! Наши технологии подобную практику исключают.

*Ориентировочные цены (2007 г., IV квартал)*

По различным диаметрам колес с учетом восстановления поверхности катания до 10 мм на сторону и 50 % износе реборд (цены без НДС):

- Ø 320 мм – 13500,00 руб.;
- Ø 400 мм – 15500,00 руб.;
- Ø 500 мм – 17500,00 руб.;
- Ø 800 мм – 37500,00 руб.

Кажущаяся высокая стоимость окупается с лихвой из-за высокой стойкости рабочего слоя наплавки, поэтому нет необходимости по несколько раз в год производить замену крановых колес.

*Области применения*

Данная технология может быть применена и на других деталях, работающих в условиях трения металл-металл с высокой сжимающей нагрузкой, например, колеса шахтовых вагонеток, стрелочные переводы, крестовины шахтовых галерей и др. объекты.

Эти технологии опробованы на ряде разных предприятий, результаты очень впечатляющие.

## НАПЛАВКА В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ПОВЫШЕННОМ ВЫЛЕТЕ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ

КРАМПИТ Н.Ю., КРАМПИТ А.Г.

*ЮТИ ТПУ*

*г. Юрга*

Цель наплавочных работ – восстановление размеров и геометрии деталей, а также получение особых (специальных) свойств.

В настоящее время при восстановлении изношенных деталей значительный объем работ выполняется дуговыми способами, из них большая часть плавящимся электродом. Наиболее перспективны в этом направлении механизированные способы сварки в защитных газах проволоками сплошного сечения и порошковыми проволоками.

При проведении наплавочных работ рекомендуются режимы, не превышающие 130А, которые характеризуются большой устойчивостью процесса в нижнем положении, малым разбрызгиванием электродного металла и небольшим тепловложением в свариваемое изделие. Одним из основных моментов при наплавке является уменьшение участия доли основного металла в металле шва, что достигается следующими технологическими приемами:

- изменение режимов и техники сварки;
- изменение угла наклона электрода;
- использование дополнительной электродной проволоки, подаваемой в сварочную ванну;
- использование дуги косвенного действия;
- использование повышенного вылета электродной проволоки.

В статье приведены результаты исследований по применению наплавки в среде углекислого газа на повышенном вылете.

При использовании рекомендованных режимов коэффициент расплавления находится в пределах 13 – 14 г/Ач. Для увеличения коэффициента расплавления, а следовательно, и повышения производительности процесса были проведены исследования по определению эффективности наплавки на повышенном вылете электродной проволоки (рекомендуемый вылет 10 – 12 диаметров электрода).

*Методика проведения эксперимента.* Исследования проводились на установке для автоматической сварки, состоящей из сварочной головки ГСП-2, блока управления БАРС-2В, источника питания ВСЖ-303, комплекта газовой аппаратуры, соединительных проводов.

Производили наплавку валиков на образцы из стали Ст3 размером 150×250×8 мм в среде CO<sub>2</sub> электродной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Начальные режимы были приняты следующие:

- скорость сварки 15 м/ч;
- скорость подачи электродной проволоки 180м/ч;
- сила сварочного тока 120 – 130 А;
- напряжение на дуге 21 – 22 В;
- напряжение холостого хода 32 В.

Длину вылета изменяли ступенчато.

При увеличении вылета электрода с 10 до 16 мм изменений в процессе горения дуги и формирования валика не наблюдается, режимы не отклоняются от начальных. При увеличении с 16 до 18 мм наблюдается незначительное ухудшение процесса (повышение разбрызгивания). При дальнейшем увеличении вылета до 19 мм процесс начинает носить неустойчивый характер: появляются автоколебания плавления электрода при горении дуги, происходит перегрев вылета, торец электрода начинает совершать хаотическое перемещение относительно стыка, ухудшается формирование сварного валика. При длине вылета 20 мм процесс носит неустойчивый характер.

Для обеспечения устойчивости процесса при вылете более 20 мм применяли контактный наконечник с дополнительным токонепроводящим каналом. Данное усовершенствование контактного наконечника позволяет увеличить вылет электродной проволоки до 50 мм без нарушения процесса. Дальнейшее увеличение длины вылета неэффективно, так как приводит к значительному ухудшению процесса зажигания дуги (зажигание происходит со второго-третьего касания). При вылете 50 мм возбуждение дуги происходит с первого раза, сварочный ток снижается с 130 до 80 А при незначительном увеличении напряжения на дуге (дуга + электродный участок). Коэффициент расплавления изменяется с 13 до 20 г/Ач. На данном вылете производили увеличение скорости подачи электродной проволоки до 400 м/ч, при этом сила тока составила 180 А, т.е. происходит снижение тока на 30 % от рекомендованного. Процесс переноса электродного металла крупнокапельный с короткими замыканиями. При этом наблюдается незначительное разбрызгивание в виде мелких капель, вылетающих за пределы пластины. Дальнейшее увеличение скорости подачи электродной проволоки приводит к необходимости повышения скорости сварки более 40м/ч, что может привести к ухудшению устойчивости процесса и возникновению опасности несплавления валика с основным металлом.

Процесс наплавки с повышенным вылетом электрода можно рекомендовать для проведения восстановительной наплавки в нижнем положении.

# БЕСКИСЛОТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОВОЛОКИ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ: ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОВОЛОКИ ПРИ ОСАДКЕ И ВОЛОЧЕНИИ

Полторацкий Л.М., Рудаков С.Г.

*ОАО «Западно-сибирский металлургический комбинат,  
Сибирский государственный индустриальный университет»*

## *2. Новокузнецк*

В состоянии поставки катанка является поликристаллическим агрегатом, состоящим из зерен феррита и перлита неравноосной формы. Объемная доля перлита, оцененная методами планиметрии, составляет примерно 0,3. Это выше значений, следующих из химического состава, и указывает на несовершенство перлитных колоний. Средний размер зерен феррита равен 12 мкм, что примерно в 1,5 раза больше зерен перлита, по границам феррита выявляются прослойки цементита. Исследования структуры показали, что в продольном и поперечном сечениях прутка число зерен составляет 5 – 6, границы их прямолинейны. Это свидетельствует о пространственной изотропии их размеров.

Исследованиями субзеренной структуры методами дифракционной электронной микроскопии тонких фольг установлено, что в ферритных зернах при прокатке формируется смешанная сетчато-ячеистая и фрагментированная дислокационная субструктуры. Основной объем  $\alpha$ -фазы занимает сетчато-ячеистая субструктура, присутствует фрагментированная субструктура. Форма фрагментов анизотропна, коэффициент анизотропии 3,8, средние размеры далеки от критических и составляют примерно  $1,15 \times 0,3$  мкм. Критическими для фрагментов являются размеры примерно 0,1 мкм.

Карбидная фаза сформирована в виде перлита пластинчатого, глобулярного или в виде прослоек, расположенных по границам зерен. Колонии пластинчатого перлита несовершенны: наблюдаются цементитные сростки, разрушенные пластины, ферритные мостики.

В ферритной составляющей перлита обнаруживается дислокационная субструктура в виде нерегулярных сеток, скалярная плотность дислокаций примерно  $2 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ . В перлитных колониях наблюдаются изгибные экстинкционные контуры, связанные с изгибом перлитных зерен в целом. Формирующие их дальнедействующие поля напряжений по амплитуде близки полям напряжений ферритных зерен с ячеистой субструктурой. Возникновение полей напряжений обусловлено несовместностью деформации ферритных и перлитных зерен, обладающих различными значениями предела текучести и скорости деформационного упрочнения.

*Холодная осадка* катанки на  $2/3$  высоты образца (что соответствует

степени пластической деформации материала  $\varepsilon \sim 0,67$ ) приводит к многочисленным изменениям зеренной структуры стали, отчетливо проявляющимся при металлографических исследованиях. Необходимо отметить изменение пространственной формы зерен – зерна становятся анизотропными.

Коэффициенты анизотропии зерен феррита и перлита близки и составляют 2,0 и 2,3 соответственно. Появление анизотропии при одноосном сжатии, наиболее отчетливо проявляющееся в перпендикулярном оси стержня сечении, обусловлено пластической деформацией материала.

Холодная осадка приводит к увеличению средних размеров зерен феррита и перлита, измеренных в поперечных сечениях деформированного прутка примерно в 2,0 и 2,2 раза, соответственно. Степень относительной деформации, оцененная, исходя из отношения продольных размеров зерен феррита и перлита к их исходным размерам, составляет 0,47 и 0,68. Исходя из относительного изменения продольных и поперечных размеров зерен феррита и перлита деформированного материала 0,48 и 0,55.

Из оценок следует, что формоизменение перлитных зерен соответствует формоизменению образца в целом. Для ферритных зерен получены заниженные результаты, что связано с протеканием процесса динамической рекристаллизации, исказившим истинное изменение размеров зерен. Для перлитных зерен, структурно-фазовое состояние которых существенно отличается от ферритных, развитие процесса динамической рекристаллизации осложнено необходимостью преобразования карбидной фазы. Зерна, образующиеся в результате динамической рекристаллизации имеют размеры 2 – 4 мкм и, как правило, располагаются в виде коротких цепочек вдоль исходных границ. Процессы рекристаллизации отразились на размере зерен – по сравнению с исходным материалом заметно увеличилось количество зерен размерами в пределах 5 мкм.

Осадка катанки сопровождается разрушением перлитной структуры, что приводит к формированию областей повышенной травимости.

*Волочение* механически очищенной катанки по маршруту 6,5 мм → 4,0 мм приводит к формированию приповерхностной и осевой зон, заметно различающихся структурным и фазовым состоянием. Наблюдается резкое изменение формы зерен – они удлинились, став похожими на ленты: коэффициент анизотропии ферритных зерен примерно равен 5, перлитных – 4. Границы зерен в большинстве случаев приобрели криволинейную форму, указывая на неравновесное состояние зеренной структуры стали. При этом кривизна границ длинных зерен нередко носит осциллирующий характер, неоднократно переходя от выпуклого состояния к вогнутому.

Приповерхностный слой катанки после механического удаления окалина и волочения имеет отличную от центральной зоны структуру. Наблюдается контраст травления, по которому он разбивается на три области: со светлым ( $\sim 0,05$  часть), однотонным серым ( $\sim 0,15$ ) и крапчатым ( $\sim 0,80$ ) контрастом. Это связано с химическим составом областей – присутствием углерода, кислорода и азота в кристаллической решетке  $\alpha$ -железа, на дефектах

структуры и в частицах вторых фаз. Выявленные области имеют сложную форму с изрезанными границами и сложным образом переходят друг в друга. Зерен с перлитной структурой не обнаружено, что связано с деформационным разрушением карбидной фазы и обезуглероживанием при термической обработке.

Таким образом, в результате металлографических исследований стали Ст2кп показано, что пластическая деформация феррито-перлитной структуры, осуществляемая различными способами (осадка на 2/3 высоты образца, волочением, волочением с последующей осадкой) приводит к существенной модификации материала – изменяются морфология, средние размеры и вектор структурной текстуры ферритных зерен, протекают процессы динамической рекристаллизации. Эволюция перлитной составляющей включает в себя, кроме вышесказанного, практически полное разрушение перлитных колоний и формирование карбидных строчек (при волочении стали) или карбидных прослоек по границам зерен феррита (при волочении с последующей осадкой).

УДК 621.79(07)

## **РАЗРАБОТКА ПЛАНОВ КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ ОАО «НЗРМК ИМ. Н.Е. КРЮКОВА»**

Ильина Г.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

ГОСТ Р ИСО 9000 – 2005 [1] определяет план качества как «документ, определяющий порядок применения процедур и соответствующих ресурсов (кем и когда), относящихся к конкретному проекту, виду продукции, процессу или контракту».

Характеризует этот род документов следующее:

1. К таким процедурам обычно относятся процедуры по процессам менеджмента качества и выпуска продукции.
2. План качества часто содержит ссылку на разделы Руководства по качеству или на документированные процедуры.

План качества следует отличать от планирования качества.

Наиболее часто планы качества используются в тех организациях, которые занимаются поставками уникальной продукции или продукции, выполненной на заказ. К примеру, в строительной отрасли часто программы качества являются обязательным требованием контракта.

В большинстве отраслей промышленности, а также в условиях массового выпуска продукции, планы качества не столь необходимы. Компании, ведущие свою деятельность в таких отраслях, чаще полагаются на руководства, процедуры и рабочие инструкции.

Планы качества разрабатываются для конкретной продукции, контракта или проекта и содержат описание присущих им мер в области качества.

Они разрабатываются на основе системы менеджмента качества компании и содержат все требования, применимые к данной продукции, контракту или проекту. Планы качества должны являться согласованными документами общего характера, применяемыми в системе качества.

Если система менеджмента качества компании полностью документирована и содержит процедуры и рабочие инструкции, планы качества можно будет составить на основе существующей документации. Требования к продукции, проекту или контракту будут определены на основе анализа контракта. Требования контракта переводятся в требования к организации, что позволяет определить необходимые действия для их выполнения. На основе подобного анализа можно определить, какими процессами можно управлять с помощью существующих процедур (с изменениями или без изменений), и для какой продукции или проектов потребуется составление специальных процедур.

План качества не должен являться набором отдельных процедур, поэтому необходимо разработать руководящий документ. Очень часто, в качестве такого руководящего документа используется поэтапный план выполнения, в котором указано, какие документы (процедуры, рабочие инструкции, описания и т.п.) применяются для управления деятельностью на различных этапах производства продукции, выполнения проекта или контракта. План может быть разработан в виде описания (текстового), в форме таблиц или схем.

Иными словами, программа качества в значительной степени является сборником документов существующей системы менеджмента качества.

Если система менеджмента качества документирована частично, разработка программ качества в таком случае займет гораздо больше времени у организации, так как потребуется создать значительную часть, если не все требуемые процедуры [2].

Разработка планов качества при производстве металлоконструкций, продиктованная временем и требованиями заказчиков, началась на ОАО «НЗРМК» в середине 2007 года. Первым документом подобного рода стал План контроля качества изготовления металлоконструкций резервуаров вертикальных цилиндрических РВС 50000 м<sup>3</sup>. Документ, по сути, описывал жизненный цикл продукции (ЖЦП) с характеристикой ответственных исполнителей процессов, процедур и средств контроля, критериев оценки годности, указанием отчетных документов и вида контроля.

Этот документ стал исходным при создании Плана качества изготовления стальных сварных конструкций (далее – План). В отличие от прототипа новый План был дополнен и исправлен. Новый документ охватывает все стадии жизненного цикла продукции ОАО «НЗРМК», и первым этапом в нем стал анализ контракта в отличие от прежней подготовки номенклатурного плана работ по исполнению договора. Всего же план предусматривает

тринадцать этапов петли качества (в зависимости от специфики производства число этапов жизненного цикла продукции может варьироваться от одиннадцати до четырнадцати; Помимо уже перечисленных элементов плана в новый документ были добавлены графы «Служба/отдел/ подразделение», «Форма вовлечения» и «Объем контроля».

Графа «Служба/отдел/подразделение» указывает на принадлежность исполнителя конкретному структурному подразделению организации. В случае выявления несоответствия в действиях исполнителя процесса проверяться будет деятельность всего подразделения. Кроме того, в одном процессе могут быть задействованы сразу несколько ответственных подразделений и подразделений – участников.

«Форма вовлечения» указывает как раз на степень участия в процессе: ответственный, участник или исполнитель, или одновременно то и другое (ответственный и исполнитель).

Информация для данных граф была взята из матриц распределения ответственности по процессам, разработанных в рамках документированных процедур СТП 3.02-2003 «Анализ контракта [3], СТП 3.03-2003 «Планирование процессов жизненного цикла продукции», [4], СТП 14.05-2003 «Планы качества. Производство стальных сварных конструкций [5].

Для действенности Плана необходимо было ввести измеримый показатель выполнения работ, поэтому появилась графа «Объем контроля». Так как План является документом внутри процедуры, то он тоже обязателен для выполнения, а численные параметры служат для конкретизации целей и упрощения работы с ним.

План, представленный в таблице 1 является общим планом изготовления продукции. Он служит для создания уверенности у потребителя, что к каждому процессу на предприятии предъявляются высокие требования, ответственность по процессам строго распределена и закреплена документально. Подобные документы потому и называются «планами качества» - они призваны обеспечить осуществление процессов, создающее на выходе качественную продукцию.

Планы качества более детального уровня в организации создаются для отдельных видов продукции. По причине уникальности практически каждого заказа типовые планы создать невозможно. Исключение составляют лишь резервуарные конструкции. К примеру, создание Плана качества изготовления резервуаров вертикальных цилиндрических (таблица 1) стало возможным вследствие наличия годами отлаженной технологии и испытанной длительным опытом конструкции.

Так как План качества изготовления резервуаров вертикальных цилиндрических является составной частью типового Плана качества изготовления стальных сварных конструкций, стадии жизненного цикла продукции, предшествующие изготовлению были пропущены. Зато подробно описаны операции и изготавливаемые детали. Потребитель, ознакомившись с планом, получает абсолютно полную информацию о приобретаемой продукции.

Таблица 1 – План качества изготовления резервуаров вертикальных цилиндрических (извлечение)

Этап/ операция	Служба/ отдел/ подразделение	Форма вовлечения	Ответственный исполнитель	Процедура или средства контроля	Критерии оценки годности	Контроль	Объем контроля	Отчетные документы
9.1 Изготовление деталей								
9.1.1 Стенка основная и защитная: - правка; - фрезерование пачек; - фрезерование фасок; - вальцовка радиуса; - пооперационный контроль	Цехи завода  ОТК	О  О/И	Мастер цеха  Контролер	СТП 14.05-2003 Технологические инструкции  СТП 14.02-2003	Соответствие требованиям технологических инструкций  Соответствие требованиям СТП 14.02-2003	Р I (в.-и.) R/M	100% 10% периодически	Технологический паспорт по операциям

<p>9.1.2 Днище основное и защитное, окрайка:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- правка;</li> <li>- фрезерование пачек;</li> <li>- резка на гильотинных ножницах;</li> <li>- газовая резка</li> </ul>	<p>Цехи завода</p>	<p>О</p>	<p>Мастер цеха</p>	<p>СТП 14.05-2003 Технологические инструкции</p>	<p>Соответствие требованиям технологических инструкций</p>	<p>P R/M</p>	<p>100% периодически</p>	<p>Технологический паспорт по операциям</p>
--	--------------------	----------	--------------------	--	--	--------------	--------------------------	---

Стоит особо отметить, особое место в планах занимает описание процедур контроля. К примеру, на этапе сборки и сварки элементов конструкций согласно СТП 14.02-2003 [6] контролю подлежат 100 % выполненных сварных швов, что гарантирует прочность соединения конструкций при эксплуатации даже при особых температурных режимах (к примеру, нефтехранилища по заказу нефтедобывающего предприятия Тюмени, где зимой температура достигает минус 55 °С).

Также в плане качества изготовления резервуаров поясняется, какой вид контроля осуществляется на каждом этапе – визуально-измерительный или специальные неразрушающие. Заказчик, таким образом, информирован о достоверности и достаточности мер контроля.

#### Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9000 – 2005 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь
2. Quality – Менеджмент качества и ISO 9000 [Электронный ресурс]: информационный портал, посвященный менеджменту качества. – Документация СМК. – Режим доступа: [[http:// quality.eur.ru / DOCUM3/ documsmk.htm](http://quality.eur.ru/DOCUM3/documsmk.htm)] – Загл. с экрана.
3. СТП 3.02-2003 «Анализ контракта», Стандарт предприятия «ОАО НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»
4. СТП 3.03-2003 «Планирование процессов жизненного цикла продукции», Стандарт предприятия «ОАО НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»
5. СТП 14.05-2003 «Планы качества. Производство стальных сварных конструкций», Стандарт предприятия «ОАО НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»
6. СТП 14.02-2003 «Мониторинг и измерения. Контроль и испытания в процессе производства. Контроль готовой продукции и заключительные испытания», Стандарт предприятия «ОАО НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»

УДК 621.791

## ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ

СТЕПАНОВ А.П.

*ЮТИ ТПУ*  
*г. Юрга*

Эффективное развитие современных сварочных технологий, совершенствование оборудования и материалов неизбежно требует глубоких теоретических знаний о физических явлениях, происходящих при сварке. При сварке электрической дугой большое значение имеет понимание процессов в столбе электрической дуги, приэлектродных областях. Однако, убедительного теоретического описания дугового разряда, которое бы объясняло все экспериментальные результаты, до сих пор не существует.

В настоящее время существуют разные модели дуги: каналовая, двух-температурная, математическая модель динамической электрической дуги, термическая модель, цилиндрическая, коническая. [1 – 5]. Однако эти модели, на наш взгляд, не позволяют объяснить процессы, происходящие в дуге.

Общая черта всех этих моделей дуги – они являются плазменными, т.е. процессы в дуге описываются на основе представлений физики плазмы. Однако, если проанализировать причину появления плазмы в дуге с точки зрения принципа причинности, то можно сказать, что плазма столба дуги является вторичным явлением, она образуется в результате действия электрического тока (рисунок 1). Исходя из этого, теорию дуги необходимо развивать на основе анализа явлений, происходящих при действии электрического тока. Именно потоки заряженных частиц, т.е. электрический ток, определяют все многообразие процессов, происходящих в дуге. Этот подход позволяет выявить физический механизм явлений в дуге, проникнуть на более глубокий, внутренний для данного явления структурный уровень, по сравнению с плазменными моделями.



Рисунок 1 – Причинно-следственная связь действия электрического тока

Поэтому была предложена электродинамическая вихревая модель электрической дуги [6]. Сущность этой модели заключается в том, что в столбе сварочной дуги при зажигании происходит поляризация, т.е. столб сварочной дуги не является однородным и квазинейтральным. Между электродом и изделием возникает канал проводимости (рисунок 2), который замыкает цепь тока источника питания дуги [7]. Этот канал представляет собой вихревое, спиральное движение частиц и все эффекты и явления сварочной дуги, как показывают исследования, определяются параметрами и поведением этого канала.

Электронный токопроводящий шнур обладает отрицательным зарядом. В соответствии с законом притяжения зарядов разной полярности, к нему будут притягиваться положительно заряженные частицы – ионы, которые образовались в результате ионизации межэлектродного промежутка при возбуждении дуги. В итоге образуется биполярный канал проводимости. Движение электронов и ионов в этом канале происходят в разные стороны

(рисунок 2). Такое совместное двунаправленное движение электронов и ионов канала проводимости образует систему динамического цилиндрического коаксиального конденсатора, поперечные размеры которого много меньше продольных. Электрические свойства этого конденсатора определяют основные свойства электрической дуги.

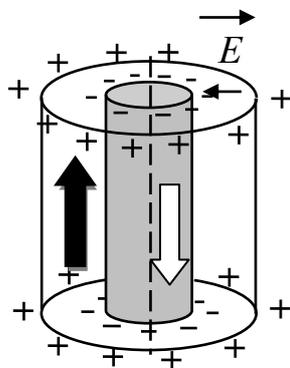


Рисунок 2 – Вихревой биполярный канал проводимости электрической дуги

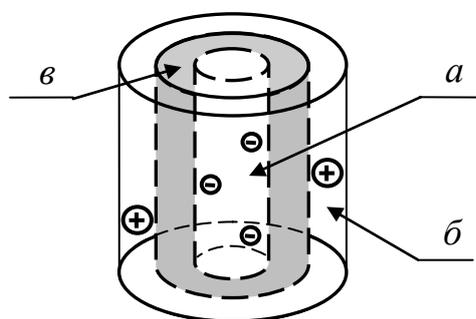
При движении электрических зарядов в электронном и ионном слое каналового конденсатора происходят в большом количестве столкновения между электронами и ионами. Эти столкновения приводят к рекомбинации зарядов и образованию между потоками электронов и ионов слоя из нейтральных атомов газа (рисунок 3). Таким образом, электронную и ионную обкладку конденсатора разделяет структура, которая в физике называется двойной электрический слой. Этот слой в целом электронейтральный и в нем интенсивно происходят процессы ионизации и возбуждения атомов газа и электродного материала. Эти процессы идут с выделением большого количества фотонов. Поэтому, именно за счет непрерывно происходящих с высокой скоростью процессов рекомбинации, ионизации и возбуждения этот слой обеспечивает максимальную яркость свечения и излучения квантов света (инфракрасного, ультрафиолетового и рентгеновского спектра) в плазменном столбе электрической дуги. Максимальная температура в столбе дуги также определяется этим слоем.

Токопроводящий вихревой канал замыкает цепь электрической дуги между анодом и катодом. На границе с электродами он образует характерное свечение – анодное и катодное пятно. Существование этих пятен является характерным признаком именно дугового разряда.

Таким образом, существование токового канала объясняет причину существования анодного и катодного пятен дуги (рисунок 4).

Эмиссия электронов из катода при электрическом разряде в газе может быть спонтанной (термоэмиссия), а также может вызываться самыми различными факторами: электрическими полями (авто- или холодная эмиссия), электромагнитным излучением (фотоэмиссия), бомбардировкой поверхности электронами (вторичная электронная эмиссия) и ионами (ион-электронная

эмиссия), протекающим током (взрывная эмиссия). При таком разнообразии катодных процессов наблюдается различное поведение катода в зависимости от условий горения электрической дуги. В каждом конкретном случае действует какой-либо один или несколько возможных механизмов эмиссии.



а) поток электронов; б) поток ионов; в) электронейтральный слой

Рисунок 3 – Структура токопроводящего канала электрической дуги



Рисунок 4 – Анодное и катодное пятна электрической дуги

Принято [1], что основным процессом эмиссии электронов при сварке электрической дугой является авто- и термоэлектронная. При этом последней отводится основная роль. Однако, если посчитать плотность тока термоэлектронной эмиссии по формуле Ричардсона – Дешмана

$$j = AT^2 \exp\left\{-\frac{e\varphi}{kT}\right\},$$

где  $A$  – постоянная Ричардсона;

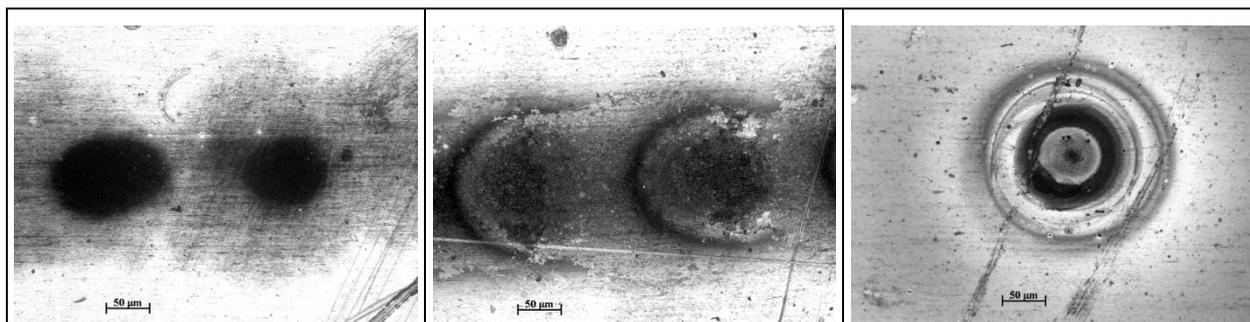
$k$  – постоянная Больцмана;

$\varphi$  – работа выхода,

то она оказывается недостаточной для поддержания дугового разряда. Поэтому при дуговом разряде существует другой тип эмиссии электронов.

Для определения характера эмиссии электронов фотографировались отпечатки, которые образовались на катоде при зажигании электрического

разряда на воздухе при атмосферном давлении (рисунок 5). В качестве анода использовались медные и угольные электроды. В качестве катода использовались нержавеющая сталь, цирконий. Режимы горения соответствовали переходной области между аномальным тлеющим разрядом и нижней границей дугового разряда, т.е. токи порядка  $10^{-1} - 10$  А, напряжение 150 – 40 В. При таких наибольших токах плавление электродного металла, образование сварочной ванны практически не наблюдалось, что и позволяет проследить разницу в отпечатках при различных режимах электрического разряда.



*a* *б* *в*  
 $a - U \approx 180$  В,  $I \approx 0,1$  А;  $б - U \approx 80$  В,  $I \approx 0,6$  А;  $в - U = 40$  В,  $I = 2-3$  А;

Рисунок 5 – Вид следа электрического разряда при различных режимах горения

Режимы, соответствующие аномальному тлеющему разряду при атмосферном давлении можно получить при непрерывном охлаждении катода, т.к. в тлеющих разрядах катод обычно холодный. Для понижения температуры катода анод приводился в движение относительно катода. При этом катод не успевает разогреться до высокой температуры и разряд не переходит в дуговой. На рисунке 5 показаны след от электрического разряда: рисунок 5, *a*, *б* сделаны при подвижном электроде и соответствуют режимам тлеющего разряда, рисунок 5, *в* – при неподвижных электродах и соответствует режиму дугового разряда.

Из фотографий видно, что дуговой разряд (рисунок 5, *в*) характеризуется образованием четкого катодного пятна. Поэтому можно сделать вывод, что в этом случае существует токопроводящий канал и, следовательно, причиной испускания электронов из катода при дуговом разряде является не термоэлектронная эмиссия, а ток проводимости. В результате образования токопроводящего канала под действием разности потенциалов между анодом и катодом возникает движение свободных электронов из материала катода. Этот механизм эмиссии является основным для поддержания существования электрической дуги. Конечно, необходимо учитывать, что на него накладываются и другие механизмы выхода электронов из катода и катодной области: термоэлектронная, автоэлектронная, вторичная электронная эмиссия и т.д., однако их вклад является неосновным.

Таким образом, на основе экспериментальных данных и электродинамической вихревой модели, можно сделать вывод, что при сварке основным источником электронов является не авто- и термоэлектронная эмиссия, а ток проводимости, который возникает в результате образования токопроводящего канала при возбуждении электрической сварочной дуги.

#### Библиографический список

1. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
2. Лелевкин В.М., Мечев В.С., Семенов В.Ф. Двухтемпературная модель столба сварочной дуги // Автоматическая сварка. – 1990. – № 6. – С. 10 – 14.
3. Пентегов И.В. Математическая модель столба динамической электрической дуги // Автоматическая сварка. – 1976. – № 6. – С. 8 – 12.
4. Гвоздецкий В.И., Зражевский В.А. Численное решение уравнения баланса энергии столба цилиндрической дуги // Автоматическая сварка. – 1975. – № 6. – С. 5 – 8.
5. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
6. Федько В.Т., Степанов А.П. Электродинамическая модель сварочной дуги // Современные проблемы машиностроения и приборостроения: Сб. тр. 1 Межд. конф. в г. Томске. 24 – 28 сентября 2002 г. Томск: STT, 2003. – С. 70 – 71.
7. Немова Т.Н., Степанов А.П. Вихревой механизм возбуждения электрической сварочной дуги // Сварочное производство. – 2008. – № 6. – С. 20 – 24.

УДК 621.791

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КОНТАКТНЫХ НАКОНЕЧНИКОВ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК**

КОЛМОГОРОВ Д.Е.

*Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета  
г. Юрга*

Ресурс работы контактных наконечников сварочных горелок для механизированной сварки плавящимся электродом существенно влияет на стабильность процесса сварки, качество сварного соединения и трудоемкость изготовления сварной конструкции в целом. Факторы, влияющие на ресурс работы контактных наконечников, представлены на рисунке 1. Они подразделяются на собственные, внешние и независимые [1].

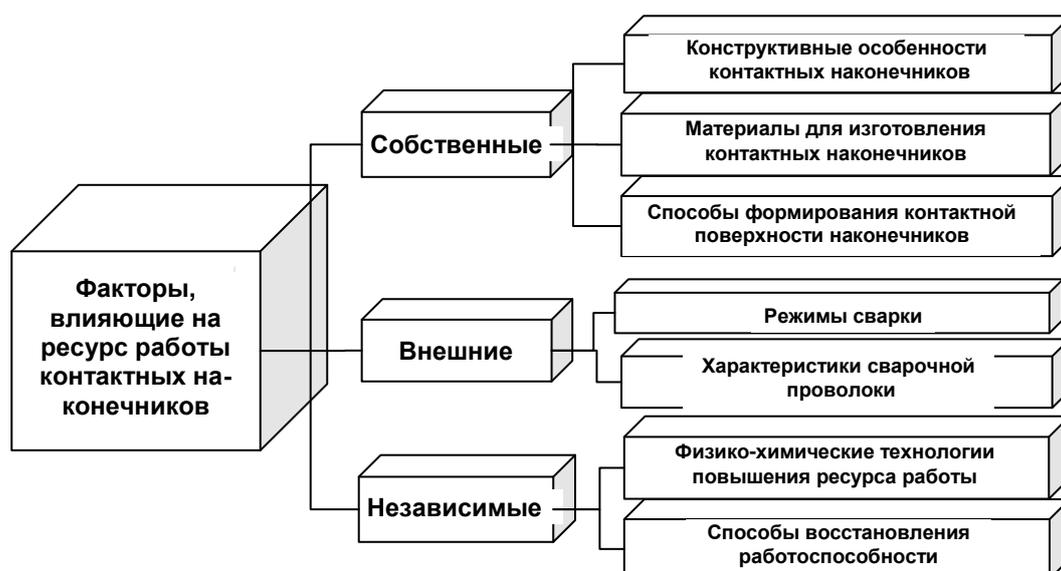


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на ресурс работы контактных наконечников

*Конструктивные особенности контактных наконечников.* Конструкции устройств для подвода тока к сварочной проволоке применяемые в горелках для сварки плавящимся электродом весьма разнообразны. Проведенный анализ показал, что наиболее долговечными являются биметаллические непрерывно компенсированные токоподводящие устройства с открытым каналом [2]. Однако для механизированной сварки в среде защитных газов тонкими проволоками, вследствие ограничения горелок по габаритам и массе, могут применяться только цилиндрические контактные наконечники со сплошным электродопроводящим каналом, а также контактные наконечники «сапожкового» типа с одним контактным лепестком. Контактные наконечники «сапожкового» типа не целесообразно использовать при сварке проволоками диаметром более 1,2 мм, так как проволока большего диаметра оказывает значительное давление на контактный лепесток, что приводит к его быстрому износу. Еще одним недостатком контактных наконечников «сапожкового» типа является высокая трудоемкость изготовления. Оптимальной конструкцией контактного наконечника для механизированной сварки в защитных газах является цилиндрические контактные наконечники со сплошным электродопроводящим каналом.

*Материалы, применяемые для изготовления контактных наконечников.* Ресурс работы контактного наконечника напрямую зависит от свойств материала, из которого он изготовлен. Материал контактного наконечника должен обладать высокой тепло- и электропроводностью, а также значительной механической и электроэрозионной стойкостью [3].

Теоретический и экспериментальный анализ показал, что наибольшей износостойкостью обладают контактные наконечники, изготовленные из композиционных материалов на основе меди. К недостаткам контактных наконечников, изготовленных из композиционных материалов, относятся по-

тери электродного металла на угар и разбрызгивание, превышающие допустимые пределы при сварке на режимах с максимальным разбрызгиванием и склонность к свариванию с электродной проволокой при незначительном износе канала наконечника при  $I_{св}$  более 300 А [4]. В перечисленных случаях целесообразно использовать медные контактные наконечники.

*Способы формирования контактной поверхности наконечников.* Анализ показал, что наиболее рациональным является способ экструдирования, поскольку при пластическом деформировании поверхность канала подвергается упрочнению, что значительно увеличивает ресурс работы наконечника [1].

*Режимы сварки.* Режим сварки оказывает непосредственное влияние на работоспособность контактного наконечника. С увеличением силы тока  $I_{св}$ , напряжения  $U_d$  и скорости подачи электродной проволоки увеличивается износ электродопроводящего канала наконечника, особенно вблизи торца. Сила тока и напряжение дуги влияют на электроэрозионный износ канала, скорость подачи проволоки влияет на его механический износ.

Кроме износа электродопроводящего канала существенным недостатком, влияющим на работоспособность контактного наконечника, является налипание брызг расплавленного металла на его поверхность, что нарушает равномерность подачи сварочной проволоки и вызывает ее приваривание к наконечнику. При сварке в  $CO_2$  для каждого диаметра проволоки имеется средний диапазон токов, в пределах которого интенсивность разбрызгивания электродного металла примерно в 2 раза больше, чем при сварке на малых и больших токах [5]. Прилипание брызг к контактному наконечнику в значительной степени зависит от его температуры в процессе сварки, на что непосредственное влияние оказывает сила тока и напряжение, а также расход защитного газа и расстояние от изделия до контактного наконечника.

*Характеристики сварочной проволоки.* Наиболее значимыми характеристиками сварочной проволоки, влияющими на ресурс работы контактных наконечников, являются:

- химический состав и механические свойства;
- состояние поверхности до прохождения через механизм подачи (наличие покрытий и технологической смазки) и после прохождения механизма подачи (наличие или отсутствие насечек от роликов подающего механизма);
- давление электродной проволоки на стенки электродопроводящего канала.

На ресурс работы наконечника так же оказывает влияние химический состав сварочной проволоки, поскольку химический состав влияет на твердость проволоки и неравномерность загрузки контактирующей части наконечника. Например, при сварке проволокой Св-08Х20Н9Г7Т наконечники изнашиваются сильнее, чем при сварке проволокой Св-08Г2С, т.к. при сварке проволокой Св-08Г2С в торцевой части наконечника передается 84 % сварочного тока, а при сварке проволокой Св-08Х20Н9Г7Т – 96 % [1].

На электроэрозионный и механический износ контактных наконечни-

ков большое влияние оказывает состояние поверхности сварочной проволоки, а именно наличие покрытий и технологической смазки. Технологическая смазка на поверхности проволоки, являясь диэлектриком, способствует возникновению электрических разрядов, вызывающих повышенный электроэрозионный износ канала наконечника, однако отсутствие технологической смазки увеличивает механический износ канала. Наименьший износ наконечника наблюдается при сварке омедненной проволокой. Это обусловлено хорошими токопроводящими свойствами медного покрытия, снижающего интенсивность электроэрозионных процессов. Механический износ также невелик, поскольку относительно пластичное медное покрытие не оказывает абразивного воздействия на канал наконечника [2].

Большое влияние на ресурс работы наконечника оказывает состояние поверхности сварочной проволоки прошедшей через механизм подачи. Поскольку механизмы подачи снабжаются подающими роликами с различной поверхностью (с насечкой или без), то на проволоке прошедшей через ролики с насеченной поверхностью образуются неровности, вызывающие повышенный износ наконечника.

Кроме вышеперечисленных факторов на износ наконечника влияет давление сварочной проволоки на стенки электродопроводящего канала. Это давление зависит от радиуса кривизны проволоки проходящей через тракт подачи сварочного полуавтомата или автомата, диаметра проволоки и ее жесткости [1].

#### *Физико-химические технологии повышения ресурса работы*

К физико-химическим технологиям относится нанесение различных термостойких покрытий на поверхность контактных наконечников в целях уменьшения налипания брызг расплавленного металла. Существует два основных вида термостойких покрытий: покрытия, наносимые на контактные наконечники методом ионного осаждения и в последствии не удаляемые с их поверхности (алмазоподобные, нитридоциркониевые и нитридотитановые покрытия) увеличивающие длительность эксплуатации наконечников на 30 – 80 %; покрытия в виде жидкостей и аэрозолей наносимые на контактные наконечники различными способами (окунанием, распылением и др.) и в последствии удаляемые с их поверхности снижающие интенсивность забрызгивания в 3 – 10 раз по сравнению со сваркой без применения защитных покрытий [1, 6].

*Способы восстановления работоспособности.* В большинстве случаев контактные наконечники после изнашивания электродопроводящего канала в дальнейшем не используются, что приводит к нерациональному расходу цветных металлов. В целях увеличения ресурса работы контактных наконечников и экономии цветных металлов необходимо применять способы восстановления изношенных наконечников [7].

*Заключение.* Учитывая влияние всех вышеперечисленных факторов на ресурс работы контактных наконечников, при механизированной сварке в CO<sub>2</sub> целесообразно применять цилиндрические контактные наконечники со

сплошным электропроводящим каналом, полученным способом экструзии, изготовленные из меди или композиционных материалов на основе меди с полированной поверхностью. Необходимо избегать сварки на средних токах, при которых резко усиливается разбрызгивание, и вести сварку с возможно меньшим напряжением дуги. Не допускать уменьшения расхода защитного газа и выбирать оптимальное расстояние от изделия до контактного наконечника. По возможности использовать сварочную проволоку меньшего диаметра. Для увеличения ресурса работы наконечника применять термостойкие покрытия для защиты от брызг расплавленного металла, а также применять способы восстановления работоспособности для изношенных контактных наконечников.

Согласно проведенным исследованиям [4, 8] для контактных наконечников из композиционного материала ДУКМ М70, меди М1 и меднохромциркониевого сплава, при использовании сварочной проволоки Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70 диаметром 1,2 мм, разработаны следующие рекомендации по применению (таблица 1).

Таблица 1 – Рекомендации по использованию контактных наконечников из различных материалов

$I_{св},$ А	Св. проволока стальная без по- крытия, подаю- щие ролики с на- сечкой	Св. проволока стальная с омеднен- ным покрытием, по- дающие ролики с насечкой	Св. проволока стальная без по- крытия, подаю- щие ролики без насечки	Св. проволока стальная с омеднен- ным покрытием, по- дающие ролики без насечки
200	1. КМ М70 (х) 2. М1 (х) 3. CuCrZr (х)	1. М1 (х) 2. CuCrZr (х) 3. КМ М70 (уд)	1. КМ М70 (х) 2. М1 (х) 3. CuCrZr (х)	1. М1 (х) 2. CuCrZr (х) 3. КМ М70 (уд)
250	1. М1 (х) 2. КМ М70 (уд)	1. М1 (х) 2. КМ М70 (х) 3. CuCrZr (уд)	1. КМ М70 (х) 2. М1 (х) 3. CuCrZr (х)	1. М1 (х) 2. CuCrZr (х) 3. КМ М70 (уд)
300	1. М1 (х)	1. М1 (х)	1. М1 (х) 2. CuCrZr (х) 3. КМ М70 (уд)	1. М1 (х) 2. CuCrZr (х) 3. КМ М70 (уд)
400	1. М1 (х)	1. М1 (х)	1. М1 (х) 2. CuCrZr (х) 3. КМ М70 (уд)	1. М1 (х) 2. CuCrZr (х) 3. КМ М70 (уд)
х – хорошо, уд - удовлетворительно				

#### Библиографический список

1. Федько В.Т., Колмогоров Д.Е. Материало- и ресурсосбережение контактных наконечников, применяемых в сварочных горелках для механизированной сварки в  $CO_2$  // Сварка в Сибири. – 2005. – № 2. – С. 60 – 62.
2. Федько В.Т., Сапожков С.Б., Колмогоров Д.Е. Сварочные токоподводы, применяемые при автоматической и механизированной сварке плавлением

- // Сварочное производство. – 2004. – № 12. – С. 23 – 29.
3. Колмогоров Д.Е. Характер и критерии износа контактных наконечников горелок для сварки в защитных газах // «Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество» Труды Всероссийской научно-практической конференции. – СибГИУ, Новокузнецк, 2007. – С. 162 – 165.
  4. Колмогоров Д.Е. Влияние износа контактного наконечника на стабильность процесса механизированной сварки в  $\text{CO}_2$  // «Инновационные технологии и экономика в машиностроении» Труды V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – ЮТИ ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2007. – С. 70 – 76.
  5. Потапьевский А.Г. Сварка в углекислом газе. – М.: Машиностроение, 1984. – 80 с.
  6. Колмогоров Д.Е., Зернин Е.А., Сапожков С.Б. Увеличение ресурса работы деталей сварочной горелки для механизированной сварки в защитных газах // «Современные техника и технологии» Труды XIV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: Изд. ТПУ. 2008.– Т.1. – С. 286 – 288.
  7. Колмогоров Д.Е. Способы восстановления работоспособности контактных наконечников сварочных горелок // «Актуальные проблемы электрометаллургии, сварки, качества» Труды международной научно-практической конференции. – СибГИУ, Новокузнецк, 2006. – Т.2. – С. 92 – 95.
  8. Колмогоров Д.Е. Влияние скорости подачи и состояния поверхности сварочной проволоки на механический износ контактных наконечников // «Инновационные технологии и экономика в машиностроении» Труды VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – ЮТИ ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2008. – С. 31 – 34.

УДК 669.14.017:620.187

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ВНЕДРЯЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕХАНИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ**

Полторацкий Л.М., Рудаков С.Г.

***ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат,  
Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк***

В цехе производства проволоки и метизов ОАО «ЗСМК» внедрены комплексы механической очистки катанки от окалины в потоке с волочильными станами.

*Линия WCM-05.*

Данное оборудование установлено в потоке семи волочильных станков SKET 3/550 - 5/550, производящих проволоку диаметром 3-4 мм из низкоуглеродистых марок стали по ГОСТ 3282, ГОСТ 6727, ГОСТ 2246, ГОСТ 5663

и ТУ 14-4-828-77. Удаление окалины с поверхности катанки в машине WCM-05 производится в два этапа.

На первом этапе осуществляется ломка окалины в двухплоскостных роликовых окалиноломателях (2-х роликовый в горизонтальной и 5-ти роликовый в вертикальной плоскости). Для повышения стойкости и эффективности работы ручки роликов армированы твердосплавными вставками. На каждом из семи волочильных станов осуществлен централизованный сбор осыпавшейся окалины и транспортировка ее виброконвейером в контейнер.

На втором этапе производится тонкая доочистка поверхности катанки металлической дробью во вращающемся барабане, причем, для обеспечения равномерной очистки всего периметра сечения, катанка проходит барабан дважды. Сбитая с поверхности окалина удаляется локальной аспирационной установкой, для предотвращения потери металлической дроби аспирация рабочего пространства барабана производится через щелевой фильтр. Металлическая дробь, просыпавшаяся через игольчатые уплотнения торцов барабана и выносимая катанкой, собирается в специальный карман и эжектором возвращается в рабочее пространство барабана.

Выбор скорости очистки зависит от диаметра прутков, количества исходной окалины, состояния поверхности и марки стали. Удаление окалины с поверхности прутка осуществляется во вращающемся барабане машины SCM-02 металлической дробью, которая за счет центробежных сил прижата к его внутренней стенке и с определенной скоростью бомбардирует поверхность обрабатываемого прутка. Положение прутка относительно внутренней стенки барабана фиксируется регулируемой направляющей линейкой, расположенной внутри барабана. Сбитая с поверхности окалина удаляется из рабочего пространства барабана аспирационной установкой через щелевой фильтр, который предотвращает потерю дроби. Дробь, уносимая выходящим прутком и просыпавшаяся через игольчатые уплотнения, собирается в специальный карман и возвращается эжектором в рабочее пространство барабана.

Основные технические характеристики линии SCM-02:

– диаметр прутков	18-40 мм;
– длина прутков	3-9 м;
– скорость очистки	до 50 м/мин;
– мощность привода барабана	18,5 кВт;
– мощность привода аспирационной установки	7,5 кВт;
– мощность привода гидронасоса	14 кВт;
– мощность привода эжектора	1,1 кВт;
– дебит аспирационной установки	2000 м <sup>3</sup> ;
– уровень шума машины	не более 75 дБ;
– уровень запыленности на выхлопе аспиратора	не более 5 мг/м <sup>3</sup> ;
– габаритные размеры	21000×5200×2800 мм;

– среднегодовая производительность до 6000 т.

Роликовые окалиноломатели.

С целью расширения объемов производства холоднотянутого проката по бескислотной технологии на комбинате разработана новая конструкция окалиноломателей. Данное оборудование установлено в линии пяти волоочильных станов ВН 2/550 и используется при производстве проволоки диам. 4 – 6 мм из низкоуглеродистых марок стали по ГОСТ 3282 и ГОСТ 6727. При знакопеременном изгибе в блоке из пяти роликов поверхностный слой окалины разрушается, пылевидная окалина удаляется из рабочей зоны аспирационной установкой, а крупные ее фракции собираются в специальные поддоны. Разработана конструкция роликов с армированием дна рабочего ручья твердосплавными вставками, что позволило снизить затраты на их изготовление по сравнению с твердосплавными вкладышами и увеличить срок службы до 1600 часов.

Основные технические характеристики роликового окалиноломателя:

– диаметр катанки	6,5-8,0 мм;
– диаметр рабочих роликов	150 мм;
– скорость очистки катанки	120-240 м/мин
– габаритные размеры	950×540×1600 мм
– среднегодовая производительность	до 12000 т.

УДК 621.791.76.

## **ПРИБОР ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА**

Рудаков С.Г., Катунина А.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Использование сплавов на основе TiNi в технике и медицине развивается широкими темпами, благодаря комплексу их свойств, в первую очередь сверхэластичности, эффекту памяти формы и высокой коррозионной стойкости. Сложная форма конструкций определяет высокую долю отходов при раскросе материала.

Применение сварки позволяет снизить количество отходов, что снижает себестоимость изделий и расширяет их ассортимент.

Проблемой получения сварного соединения является изменение химического состава зоны сварки, что приводит к частичной или полной потере свойств памяти формы и к снижению прочности. По имеющимся литературным данным сохранение свойств при термическом воздействии обеспечивается при скоростях охлаждения, характерных для закалки. Способ ударной конденсаторной сварки гарантирует скорости охлаждения зоны сварки порядка 10 град./с, что позволяет применить его для сварки сплавов на основе

TiNi.

Полученные результаты по исследованию свариваемости большинства применяемых в настоящее время сплавов с термомеханической памятью на основе никелида титана и влиянию некоторых видов термической и термомеханической обработки, проводимой во время и после сварки (в том числе лазерная и ультразвуковая поверхностная упрочняющая обработка) показали возможность получения сварного соединения титано-никелевых сплавов с достаточными для практического применения свойствами (прочность, коррозионная стойкость и сохранение эффекта памяти формы).

Основной задачей при проектировании сварочных технологий является активный контроль за параметрами сварки на всех стадиях процесса и управление ими, в случае необходимости, для получения ожидаемых результатов.

В схему установки для ударно-конденсаторной сварки заложены несколько датчиков, следящих за основными параметрами сварки – напряжением заряда, емкостью батареи конденсаторов, сопротивлением разрядной цепи, вылетом электродов, скоростью соударения, амплитудой и длительностью импульса разрядного тока.

После сварки изделие подвергается термической обработке в контролируемой активной или инертной газовой среде с обязательным слежением за составом среды, температурой, временем выдержки, скоростью нагрева и охлаждения.

Нами разработана установка, позволяющая проводить термообработку по заранее заданному термическому циклу. За основу взята схема амплитудной системы фотокопирования газорезательных машин. Необходимый график нагрева, выдержки и охлаждения наносится непрозрачным носителем (чернила, тушь и т.п.) на бумажный носитель самопишущего прибора.

В электрическую схему самописца добавлены тиристорная оптопара и схема обратной связи с нагревательным элементом системы термообработки. Излучающий и воспринимающий элементы оптопары находятся по разным сторонам бумажного носителя. При нахождении центра оптопары точно по середине линии термического цикла схема сравнения находится в равновесии и сигнал на нагревательное и охлаждающее устройства отсутствует. При отклонении в ту или иную сторону (т.е. когда температура образца меньше или больше заданной) схема сравнения подает сигнал на включение или отключение тиристорных контакторов силовых схем нагрева и охлаждения.

Система позволяет проводить нагрев и охлаждение до скоростей порядка  $1000 \text{ K}\cdot\text{c}^{-1}$ . Точность поддержания температуры не хуже  $10\text{K}$  до температур  $1500^\circ\text{C}$ .

Первые экспериментальные испытания разработанной системы контроля и слежения за параметрами сварки и термообработки показали ее перспективность при изготовлении конструкций из сплавов с термомеханической памятью.

## **ВЛИЯНИЕ ОБЩЕЙ И ЛОКАЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА МЕЗОСКОПИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ СТАЛИ**

БУРКОВ В.П., БУРКОВ П.В., ЗЕРНИН Е.А.

*Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета  
г. Юрга*

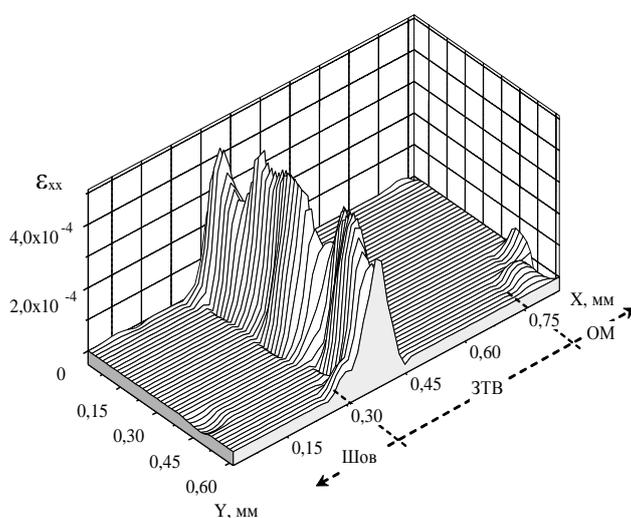
Одним из перспективных нержавеющей материалов для изготовления упругих элементов различного назначения являются холоднокатаные аустенитные хромомарганцевые стали, легированные азотом. При креплении элементов к узлам конструкций часто используют сварку плавлением. Согласно технологическому процессу после операции сварки изделие подвергают старению. При сварке в материале формируются специфические диссипативные структуры, определяющие особенности фазовых превращений при старении и механические свойства сварных соединений [1, 2]. В настоящей работе изучено влияние механизма выделения упрочняющей фазы и механических характеристик материала на эволюцию поворотной компоненты деформации в зоне термического влияния (ЗТВ).

При изучении зон пластической деформации сварного соединения, использовался оптико-телевизионный метод, базирующийся на двухэкспозиционном компьютерном анализе изображений поверхности нагруженного материала [3]. Он позволяет строить поля векторов смещений элементарных участков поверхности и рассчитывать распределения локальных компонент тензора пластической дисторсии: продольной  $\epsilon_{xx}$ , поперечной  $\epsilon_{yy}$ , сдвиговой  $\epsilon_{xy}$  и поворотной  $\omega_z$ . Экспериментальные исследования проводили в условиях статического нагружения сварного соединения.

В качестве объекта исследований была выбрана высокоазотистая сталь X17AG18, на образцах проводили имитацию сварки электронно-лучевым способом. Диаметр электронного пучка  $\approx 1$  мм, скорость прохода 2 мм/с. Исследование процессов пластического течения сварного соединения показали, что пластическая деформация протекает неоднородно, но наблюдается пространственно-временная организованность распределения компонент тензора пластической дисторсии в ходе нагружения. Так как зона шва представляет собой участок образца со специфическими, отличающимися от основного металла, свойствами, то его можно рассматривать как отдельный образец с размерами зоны переплава.

Расплавленный металл кристаллизуется с образованием дендритно-ячеистой структуры. В прилегающей к литой зоне – зоне термического влия-

ния (ЗТВ), происходят структурные изменения, которые влияют на процессы выделения упрочняющей фазы и, следовательно, на весь комплекс механических свойств изделий со сварным соединением. Процессы оплавления границ зерен, миграция границ зерен происходят в ЗТВ возле литой зоны выше 1000 °С, что приводит к росту зерна. Известно, что увеличение размера зерна уменьшает долю прерывистого распада при старении, приводящее к снижению механических свойств зоны термического влияния [2]. Это подтверждается графиками микротвердости (рисунок 1). Неравновесные условия кристаллизации, незаконченные процессы диффузионного или конвективного выравнивания состава расплава и твердой фазы вызывают химическую неоднородность металла. По результатам работ известно, что химическая неоднородность в литой зоне выше, чем в основном металле.



1 – закалка от 1200 °С, электронно-лучевая сварка; 2 – закалка от 1200 °С, электронно-лучевая сварка, старение 700 °С; 3 – закалка от 1200 °С, электронно-лучевая сварка, зональная термическая обработка, старение 700 °С (4 ч)

Рисунок 1 – График микротвердости сварного соединения стали в закаленном состоянии

Структурная и химическая неоднородность вызывает неоднородное распределение механических свойств. Ввиду небольшой ширины зоны термического влияния и самого шва невозможно испытывать их прочность отдельно. Испытание прочности проводили как основную часть сварного соединения на образцах растягиваемых поперек шва. Косвенно прочностные свойства сварного шва и зоны термического влияния можно оценить путем измерения микротвердости. На рисунке 1 приведены кривые микротвердости в направлении поперек сварного соединения при электронно-лучевой сварке. В закаленной стали микротвердость шва выше, чем микротвердость зоны

термического влияния и основного металла (рисунок 1 (1)). Это обусловлено дисперсностью дендритно-ячеистой структуры литой зоны. Неравномерное распределение прочностных свойств по зоне воздействия играет отрицательную роль, снижая технологические свойства изделий, так как является концентратором напряжений и местом преждевременного разрушения конструкций. Для обеспечения прочностной однородности сварных соединений требуется, чтобы разница в значениях твердости не превышала 20 %. При неудовлетворении этого требования сварные соединения необходимо подвергать термической обработке.

При нагреве во время старения идет выделение упрочняющей фазы  $\text{Cr}_2\text{N}$  и  $(\text{CrMn})_2\text{N}$  одновременно по прерывистому и непрерывному механизму в литой зоне и основном металле. В связи с этим формируется структура смешанного типа распада, определяющаяся различными областями травимости. В зоне расплава при охлаждении металл кристаллизуется с образованием дендритно-ячеистой структуры и при последующем старении в этой области, путем миграции большеугловых границ, протекает реакция прерывистого выделения упрочняющей фазы. Отсутствие прерывистого распада в ЗТВ обусловлено тем, что эта область металла при сварке нагрелась до температур растворения нитридных и карбидных частиц (более  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ), и последующее быстрое охлаждение зафиксировало состояние пересыщенного твердого раствора. На границах зерен выделяются дисперсные карбидные частицы ( $(\text{Cr,Mn,Fe})_{23}\text{C}_6$ ). Эти частицы закрепляют границы и препятствуют развитию процессов диффузии и прерывистого распада. Выделение частиц  $\text{Cr}_2\text{N}$  проходит медленно по непрерывному механизму, поэтому ЗТВ слабо упрочнена. В более удаленных от шва областях ЗТВ, где температура не превышала  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ , при старении прерывистый распад протекает так же, как и в основном металле, не претерпевшем термического влияния. В материале шва, имеющего дендритно-ячеистую структуру, при старении на большеугловых границах карбидные частицы не выделяются.

При нагружении как исходного, так и термообработанного (состаренного) сварного соединения локализация пластического течения сосредотачивается в зоне термического влияния, так как сопряжение протяженных областей материала с различными структурами распада инициирует проявление в сварном соединении мезомасштабного характера деформации уже в начале растяжения. Это выражается локализацией в ЗТВ пластического течения и активацией значений моды деформации. В процессе нагружения пластическое течение реализуется в более узкой области, а значения моды деформации непрерывно растет, что приводит к мезоскопической фрагментации материала и последующему разрушению сварного соединения по границе ЗТВ – шов (рисунок 2).

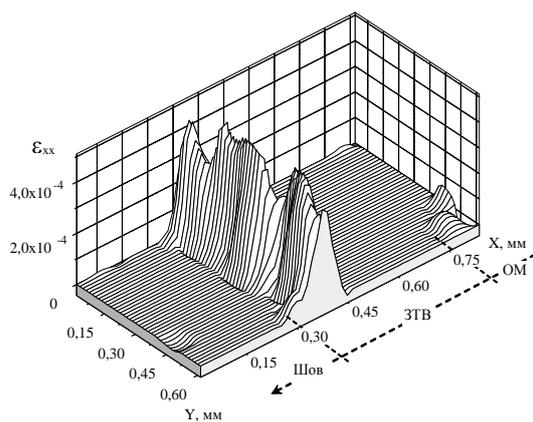
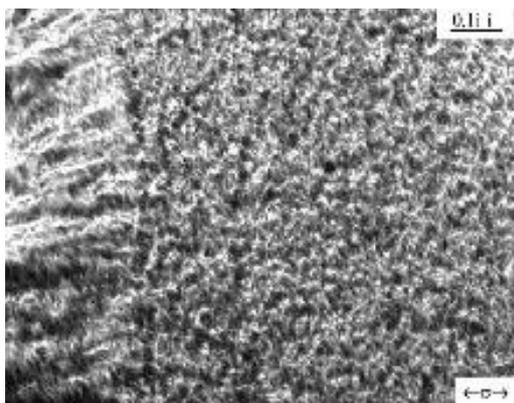


Рисунок 2 – Эволюция продольной компоненты тензора дисторсии ( $\varepsilon = 12\%$ ) на участке деформируемой поверхности сварного соединения закаленной стали с последующим старением

Растяжение сварного соединения предварительно прокатанной стали после операции общей термической обработки (старения) показало, что как и в закаленном материале в ЗТВ происходит локализация пластического течения. Но для данного состояния материала характерна низкая пластичность, связанная с высокой прочностью основного металла, и узкой зоны переплава, где и проходит деформация. Это инициирует проявление в сварном соединении мезомасштабного характера деформации в начальной стадии нагружения сварного соединения и проявляется активацией поворотной моды деформации течения. Дальнейшая аккомодационная перестройка нагруженного сварного соединения возможна только путем увеличения сдвигов и разворотов в ЗТВ. В процессе нагружения их значения непрерывно растут до  $|4 \times 10^{-4}|$ , локализация деформации сосредотачивается в области шов–ЗТВ с двух сторон относительно зоны переплава. В левой и правой областях ЗТВ макросдвиги развиваются по схеме фазовой волны переключения [5]. И в связи с разными значениями поворота этих участков в волне локализованной пластической деформации проявляется нескомпенсированная крупномасштабная локализованная поворотная мода [6]. Она аккомодируется зарождением и развитием по границе ЗТВ – сварной шов магистральной трещины как релаксационного механизма поворотного типа, приводящая к разрушению сварного соединения.

Для исследования сварных соединений высокоазотистой стали X17AG18 предварительно нагартованной ( $\varepsilon = 80\%$ ) и термообработанной (старение  $700\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4 ч.) использовали образцы.

В связи с тем, что прочностные свойства основного металла намного выше ( $\sigma_{\text{В основного металла}} = 1600\text{ МПа}$ ), пластическая деформация преимущественно развивается в зоне термического влияния (ЗТВ) и сварном шве. Пластическое течение в шве очень неоднородно, с выраженными динамически

неустойчивыми областями локализации. С течением времени области локализации смещаются вдоль оси растяжения.

Разрушение сварных соединений нагартованной и состаренной стали X17AG18 происходит по шву. Таким образом, несущая способность сварных соединений определяется прочностными характеристиками шва.

Локальная термическая обработка (закалка) ЗТВ расфокусированным электронным лучом и последующее старение практически полностью устраняют неоднородности структуры и механических свойств сварных соединений закаленной стали. Исследования показали, что прочностные характеристики данного соединения определяются механическими свойствами основного металла. В этом случае на мезоуровне поворотная мода деформации подавлена и в процессе нагружения не наблюдается её роста в ЗТВ. При нагружении в шве и ЗТВ проходит деформационное упрочнение и локализация деформации перемещается в область основного металла (рисунок 3), где образуется «шейка» и дальнейшее разрушение материала.

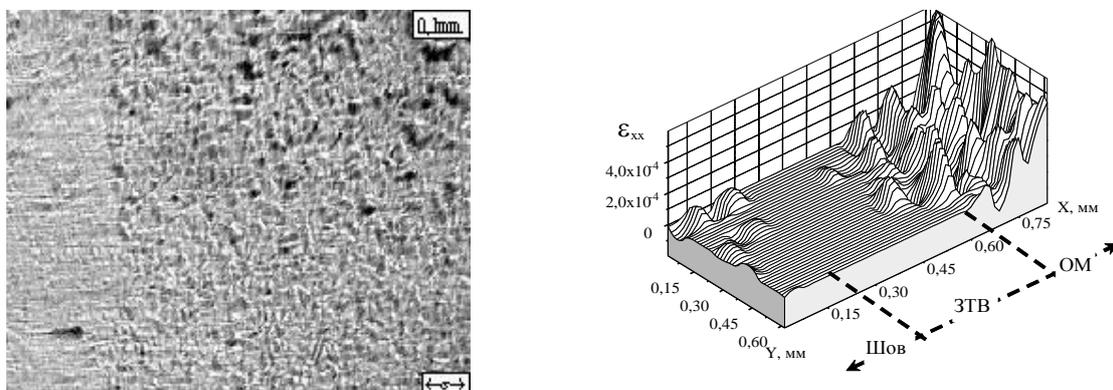


Рисунок 3 – Эволюция продольной компоненты тензора дисторсии ( $\epsilon = 18\%$ ) на участке деформируемой поверхности сварного соединения закаленной стали с зональной обработкой и последующим старением

Данная термическая обработка существенно увеличивает ресурс работы нагруженных сварных конструкций.

#### Выводы

1. Деформация в сварном соединении развивается неравномерно в связи с неоднородностью структуры и механических свойств градиентных зон соединения и носит волновой характер.

2. Общепринятая термическая обработка сварных соединений не устраняет неоднородность структуры. Локализация деформации после термической обработки сосредотачивается в области шов–ЗТВ, а компоненты тензора пластической дисторсии имеют максимальное значение.

3. Оптимизация режимов термообработки сварных соединений металлических поликристаллов может быть произведена по анализу количественных характеристик поворотной моды деформации в зоне термического влияния, т.е. ее уменьшения.

4. Правильность выбора технологических режимов термической обработки сварных соединений устанавливается по значениям поворотной компоненты деформации на мезоуровне в ЗТВ.

#### Библиографический список

1. Рябов В.Р., Рабкин Д.М., Курочко Р.С., Стрижевская Л.Г. Сварка разнородных металлов и сплавов. М.: Машиностроение, 1984. – 239 с.
2. Panin V.E., Strokotov R.D., Burkova S.P., Akhmetzhanov B.K. Structure and physical-mechanical properties of high-strength austenite steels after electronbeam and laser treatment. // The Second Chinese-Russian Symposium – China. – 1993.– P.40.
3. Сырямкин В.И., Панин В.Е., Дерюгин Е.Е. и др. Оптико-телевизионные методы исследования и диагностики материалов на мезоуровне // Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов: В 2 т. / Под ред. В.Е. Панина. – Новосибирск: Наука, 1995. – Т. 1. – Гл. 8. – С. 176 – 194.
4. Зуев Л.Б. О формировании автоволн пластичности при деформации. // Металлофизика и новейшие технологии. – 1994. – Т.16, – № 10. – С. 31 – 36.
5. Дерюгин Е.Е. Метод элементов релаксации. – Новосибирск.: Наука, 1998. – 253 с.
6. Панин В.Е. Методология физической мезомеханики как основа построения моделей в компьютерном конструировании материалов // Изв. вузов. Физика. – 1995. – № 11. – С. 6 – 25.

УДК 621.791

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

САБИРОВ И.Р., ИЛЬЯЩЕНКО Д.П., ЗЕРНИН Е.А.

*Юргинский технологический институт ТПУ  
г. Юрга*

Дуговая сварка плавящимся электродом (механизированная сварка в защитных газах и РДС покрытыми электродами) занимает одно из ведущих мест во всех отраслях промышленности, в том числе в машиностроении, при изготовлении металлоконструкций, при строительстве магистральных газо- и нефтепроводов, а также при проведении ремонтных работ [1]. Одним из недостатков дуговой сварки плавящимся электродом является разбрызгивание электродного металла. Разбрызгивание сопровождается выбрасыванием из зоны дуги большого количества брызг (капель) жидкого металла различного размера, вступающих в физико-химическое взаимодействие с поверхностными слоями свариваемого металла, что приводит к изменению его структурно – фазового состояния. Например, при сварке высокопрочных ле-

гированных сталей, под каплей образуется закалочная структура, являющаяся концентратором напряжений, что ведет к ухудшению эксплуатационных свойств конструкции. Забрызгивание деталей сварочной аппаратуры и набрызгивание поверхности свариваемых изделий требуют введения в технологический процесс нежелательной операции – очистки поверхностей от брызг. Это приводит к дополнительным трудозатратам на зачистку изделий в объеме 20...40 % от общей трудоемкости сварочных операций [2].

Снизить величину набрызгивания капель расплавленного металла на поверхность свариваемых деталей можно двумя способами [3]:

1. Устранить величину разбрызгивания. Данный эффект достигается разработкой систем управления переносом металла, новых сварочных материалов, технологий и приемов сварки.

2. Применением покрытий для защиты поверхности свариваемого металла от брызг расплавленного металла. Поверхность металла, подлежащего сварке, покрывают защитным слоем в виде экрана или раствора веществ, высыхающего перед сваркой и препятствующего прилипанию брызг к основному металлу.

Основными конкурентами на рынке являются аэрозоли и пасты зарубежных производителей, применяемые для защиты поверхностей свариваемых изделий. Данная конкурентная продукция обладает следующими недостатками: трудноудаляемость с поверхности изделия, большой расход на погонный метр шва, высокая стоимость, взрывоопасность, потеря свойств при отрицательных температурах.

Актуальным становится вопрос о разработке функциональных покрытий, обладающих следующими преимуществами:

- 1) Положительно влияют на процесс сварки
- 2) Не взрывоопасны
- 3) Малый расход на 1 погонный метр шва
- 4) Низкая стоимость
- 5) Не теряют технологических свойств при значительных колебаниях температуры
- 6) Легко удаляются с поверхности
- 7) Использование при отрицательных температурах

Учитывая требования, предъявляемые к защитным покрытиям, сотрудниками кафедры сварочного производства Юргинского технологического института были разработаны:

1. Функциональное покрытие, которое имеет бифункциональное назначение. Данное покрытие уменьшает набрызгивание расплавленного металла при сварке и снижает разбрызгивание [4].

2. Функциональное покрытие, не теряющее эксплуатационные свойства при отрицательных температурах и обеспечивающее надежную защиту поверхностей свариваемых деталей и аппаратуры [5].

3. Функциональное покрытие, характеризующееся длительным хранением без процессов брожения и обеспечивающее надежную защиту верти-

кальных и наклонных поверхностей [6].

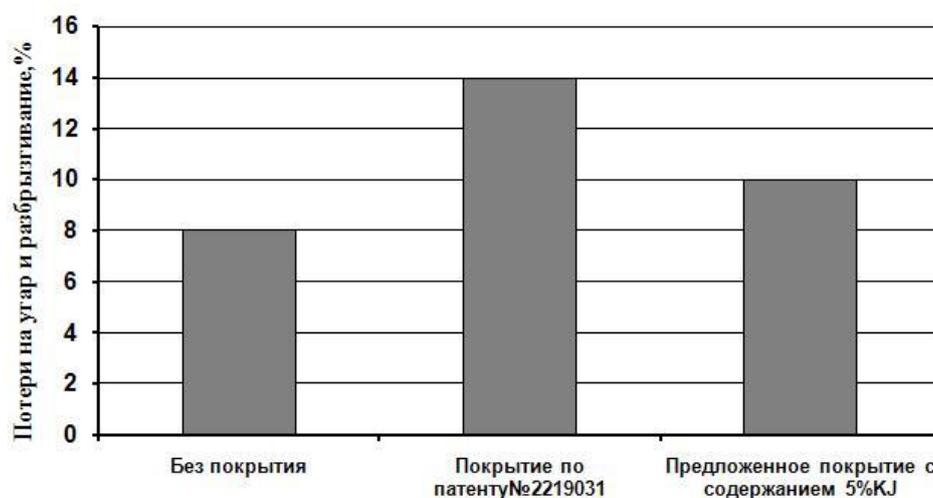


Рисунок 1 – Зависимость потерь расплавленного металла на угар и разбрызгивание

Таблица 1 – Влияние количества функционального компонента на эксплуатационные свойства

Количество функционального компонента (в граммах) в покрытии на 1000 г. воды	60	80	100
Температура замерзания, °С	-3	-6	-10

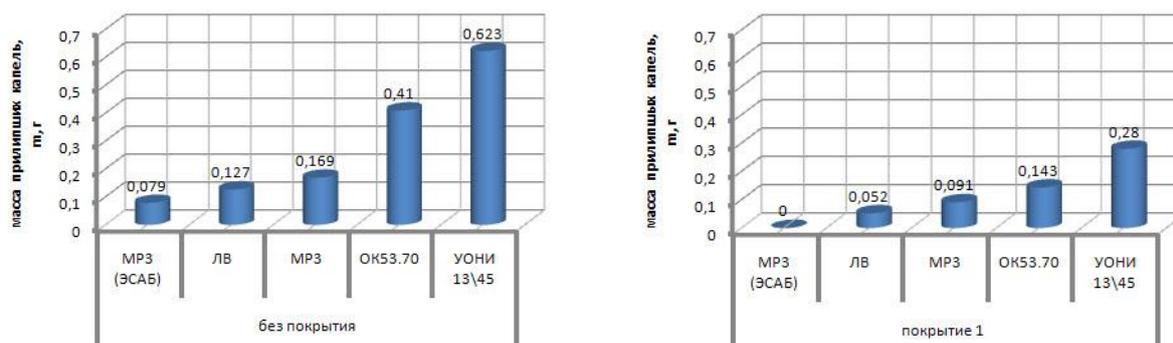


Рисунок 2 – Гистограммы величины набрызгивания при ручной дуговой сварке покрытыми электродами различных марок (сварочный ток 100 А, диаметр электрода 3 мм)

Предлагаемые функциональные покрытия могут быть использованы на предприятиях по производству сварных металлоконструкций и машиностроительных предприятиях, а также при строительстве магистральных газо- и нефтепроводов.

Экспериментальные образцы покрытий были применены на ОАО «Восточно-Сибирский завод металлоконструкций» (Красноярский край, г. Назарово), ОАО НПО «Сибсельмаш» (г. Новосибирск), ООО «Кузнецкие металлоконструкции» (г. Новокузнецк), ООО «РТЦ Сибирь» (г. Новокузнецк). Использование покрытий на данных предприятиях дало положительный эффект, заключающийся в значительном снижении затрат на зачистку сварных соединений от брызг электродного металла.

#### Библиографический список

1. Конищев Б.П. Достоинства и недостатки электродов с различными видами покрытия. // Сварщик профессионал. 2006. №8. С. 24
2. Федько В.Т. Технология, теоретические основы и средства снижения трудоемкости при сварке в углекислом газе: Учебник. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 398 с.
3. Ильященко Д.П., Сапожков С.Б. Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и способы его снижения // Сварочное производство. – 2007. – № 12. – С. 28 – 31.
4. Сабилов И.Р., Сапожков С.Б., Зернин Е.А. Заявка на изобретение Функциональное покрытие для дуговой сварки плавлением. Регистрационный номер 2007140588.
5. Ильященко Д.П., Сапожков С.Б., Зернин Е.А., Колмогоров Д.Е. Состав покрытия для защиты поверхности свариваемого изделия от налипания брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением. Патент на изобретение 2329885 (РФ) Приоритет от 07.11.2006.
6. Сапожков С.Б., Зернин Е.А., Ильященко Д.П. Покрытие для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением. Патент на изобретение № 2297311 (РФ) Приоритет от 09.03.2006.

УДК 378:621.791

## **КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ\***

ЗЕРНИН Е.А., КРАМПИТ Н.Ю.

*Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета  
г. Юрга*

Одной из основных задач инженерного образования в настоящее время является обеспечение промышленности высококвалифицированными специалистами, способными эффективно решать различные научно-

---

\* Работа выполнена при поддержке Совета грантов Президента Российской Федерации Грантополучатель Зернин Е.А. Номер гранта МК-3993.2008.8.

технические, технологические и экономические проблемы в условиях жесткой конкуренции на внутреннем и международном рынках. Поэтому необходимо совершенствовать университетское техническое образование, искать и применять новые формы и технологии обучения\*\*.

В статье представлены пути повышения качества инженерного образования для достижения основной задачи. По мнению авторов, следует уделять внимание подготовке специалистов не только в стенах ВУЗа, но и проводить различные мероприятия на всем протяжении становления личности.

Предлагается эти мероприятия представить в виде *модели*, включающей в себя три основные составляющие:

1. До обучения в ВУЗе.
2. В процессе обучения в ВУЗе
3. После обучения в ВУЗе.

Концепция этой модели основана на принципах:

– интеграции учреждений начального, среднего и высшего профессионального образования в единую образовательную систему подготовки кадров;

– системности и логичности построения учебного процесса профессиональной подготовки с последовательным переходом обучаемого с одного образовательного уровня на другой;

– профессиональной направленности и индивидуализации обучения;

– свободного и сознательного подхода обучаемого к выбору образовательных программ, учитывающих уровень подготовки, способности и желание обучаемого, а также спрос на рынке труда молодых специалистов;

– взаимосвязи образовательной и производственной сфер в целевой индивидуальной подготовке специалистов по заявкам предприятий и организаций;

– социальности, обеспечивающей уверенность выпускников в трудоустройстве по специальности и их социальной защищенности.

Пространственно-временные рамки рассматриваемой модели предусматривают возможность свободного включения в нее различных образовательных учреждений, которые формируют и разрабатывают учебные планы, программы, методики обучения, систему контроля знаний.

Для *первой составляющей модели* эта программа будет предусматривать точечную профориентацию в школах, различных учебных заведениях и учреждениях. Инновацией можно считать привлечение потенциальных студентов к специализированным олимпиадам, конкурсам и конференциям.

Особенно привлекательным моментом для студентов техникумов может служить факт получения образования по сокращенным ускоренным планам. Последовательное прохождение учебных программ формирует более полное представление о специальности, усиливает мотивацию и необхо-

---

\*\* Демин В.А., Ужва В.В. Интегрированная система подготовки специалистов // Сварочное производство. – 2008. – № 7. – С. 41 – 43.

димось непрерывного расширения и углубления знаний, способствует их прочному и долгосрочному усвоению и накоплению.

*Для второй составляющей модели* эта программа будет предусматривать подготовку специалистов, при этом уделять особое внимание:

- изучению стандартов и нормативных документов, в том числе международных;
- рассмотрению вопросов сертификации производства;
- рассмотрению систем обеспечения качества.

Как отмечалось ранее, требования к современному инженеру включают глубокие теоретические знания, широкое использование информационных технологий при изучении специальных дисциплин, а также использование приобретенных знаний на практике, поэтому к проблемам высшего образования можно отнести:

- недостаточную подготовку преподавателей специальных дисциплин в области использования информационных технологий в процессе обучения будущего специалиста;
- необходимость обновления учебных пособий в соответствии с современным уровнем производства;
- необходимость стажировки преподавателей на ведущих предприятиях и их аттестация.

Решение данных проблем авторы видят в обеспечении междисциплинарных связей и сквозном обучении. Также необходимо усиливать практическую направленность курсов, проводить постоянный мониторинг выпускаемой продукции ведущих предприятий с целью включения номенклатуры изделий в курсовые проекты (работы) и выпускные квалификационные работы. Повышение квалификации и стажировки преподавателей должны совершенствовать внутривузовскую систему обеспечения качества подготовки высококвалифицированных специалистов.

*Для третьей составляющей модели* эта программа будет предусматривать возможность повышения образовательных потребностей граждан, их научной или педагогической квалификации, а также переподготовки.

После обучения в ВУЗе необходимо:

- оценивать выпускника по анкетным данным;
- выполнять оценку психологического состояния выпускника;
- качество выпускника осуществлять по оценке работодателя;
- проводить самооценку качества трудоустройства.

Установление выпускающей кафедрой с выпускниками обратных связей и профессиональное сопровождение их в течение нескольких лет самостоятельной производственной деятельности способствует профессиональному совершенствованию специалистов. Авторы убеждены, что студент, последовательно выполнивший программы модели, будет обладать повышенной самоорганизацией и коммуникацией, что делает его более конкурентоспособным на рынке труда молодых специалистов.

В заключении хочется отметить потребность в информации от основ-

ных работодателей в четко сформулированных требованиях к молодым специалистам.

УДК621.791.03

## **ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ПРИ РДС ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ**

Ильященко Д.П. , Зернин Е.А. , Буцкевич А.А.

*Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета  
г. Юрга*

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами в настоящее время остается основным способом сварки неповоротных стыков магистральных и промышленных нефтепроводов, эксплуатируемых в условиях Западной Сибири, при соединении секций или отдельных труб в непрерывную нитку, а также при проведении ремонтных работ. К тому же выполнение сварочно-монтажных работ в северных районах России возможно преимущественно зимой при низких температурах воздуха (до минус 50 °С), что является одним из препятствий для продвижения механизированных способов сварки [1].

Несмотря на известные достоинства [2, 3], этот способ сварки имеет недостатки, которые снижают эффективность его применения. К ним относятся: низкая производительность сварки по сравнению с механизированными способами сварки; зависимость качества сварного соединения от квалификации сварщика; разная скорость плавления электрода в начале и в конце процесса (так как ток, протекая по электроду, разогревает его, меняется сопротивление); большие потери металла на угар и разбрызгивание, огарки, в сумме составляющие до 30 процентов массы стержня.

К основным причинам выбрасывания капель металла из зоны сварки относятся [4]:

– нестабильный характер переноса металла, когда сила, отрывающая каплю от электрода, направлена в сторону от ванны, и капля выбрасывается за ее пределы; нестабильность переноса может быть вызвана условиями развития дугового разряда и металлургическими факторами, в частности интенсивным протеканием химических реакций;

– местное взрывообразное выделение газов в объеме металла, вызываемое металлургическими реакциями и приводящее к выбросу частиц металла из капель или, что бывает реже, из ванны;

– разрушение мостика жидкого металла, образующегося при переносе металла с короткими замыканиями в результате резкого увеличения плотно-

сти тока при сужении перемычки; разбрызгивание в значительной степени зависит от динамических характеристик источника тока;

– недостаточная стабильность процесса сварки.

Интенсивность разбрызгивания металла зависит от многих факторов [5]:

– вида покрытия электродов (составляющих компонентов электродного покрытия) и состояния поверхности кромок основного металла,

– характеристики источника питания (в работах [6, 7] установлена зависимость между динамическими характеристиками источника питания и величиной потерь на разбрызгивание электродного металла).

– величины и соотношения параметров режима сварки и др.

Разбрызгивание электродного металла сопровождается набрызгиванием его на поверхность свариваемых деталей при сварке покрытыми электродами, которое может достигать существенных значений. Установлено [2], что трудоемкость по отчистки поверхности свариваемых изделий от брызг расплавленного металла, составляет от 20 – 40 % от основного времени сварки.

Снизить величину набрызгивания капель расплавленного металла на поверхность свариваемых деталей можно тремя способами [5]:

1) устранить или снизить величину разбрызгивания (1 разработкой систем управления переносом металла; 2 разработкой новых сварочных материалов, технологий и приемов сварки);

2) применением покрытий для защиты поверхности свариваемого металла от брызг расплавленного металла;

3) уменьшить величину разбрызгивания и набрызгивания путем применения защитных покрытий с активирующими добавками.

Количественным показателем разбрызгивания металла служит коэффициент разбрызгивания  $\Psi$ , представляющий отношение веса брызг к весу расплавленного металла электрода по формуле:

$$\Psi = \frac{Q_{\delta}}{Q_p}, \quad (1)$$

где  $Q_{\delta}$  – количество брызг, г;

$Q_p$  – количество расплавленного электродного металла.

В настоящей работе исследовано влияние величины сварочного тока, динамических характеристик источника питания на количество (величину) разбрызгиваемого электродного металла при использовании различных марок покрытых электродов. В качестве источника питания применяли выпрямитель ВДУ-306 УЗ и Форсаж – 315. Сварку производили в коробе для облегчения сбора брызг. Результаты проведенных исследований представлены на рисунках 1 – 6.

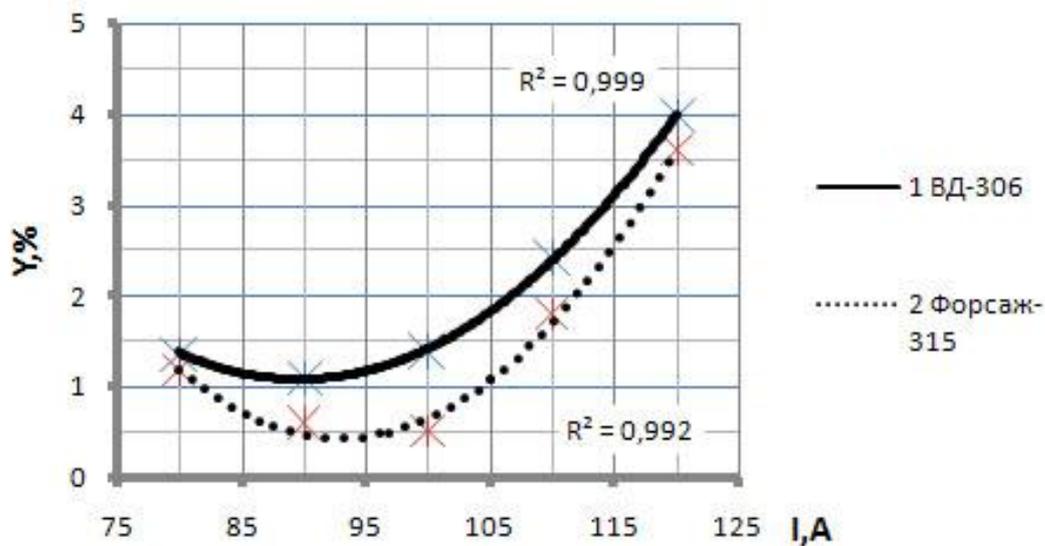


Рисунок 1 – Влияние силы тока на величину разбрызгивание электродного металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами диам. 3 мм ОК 53.70 (ЭСАБ) (рутиловое покрытие)

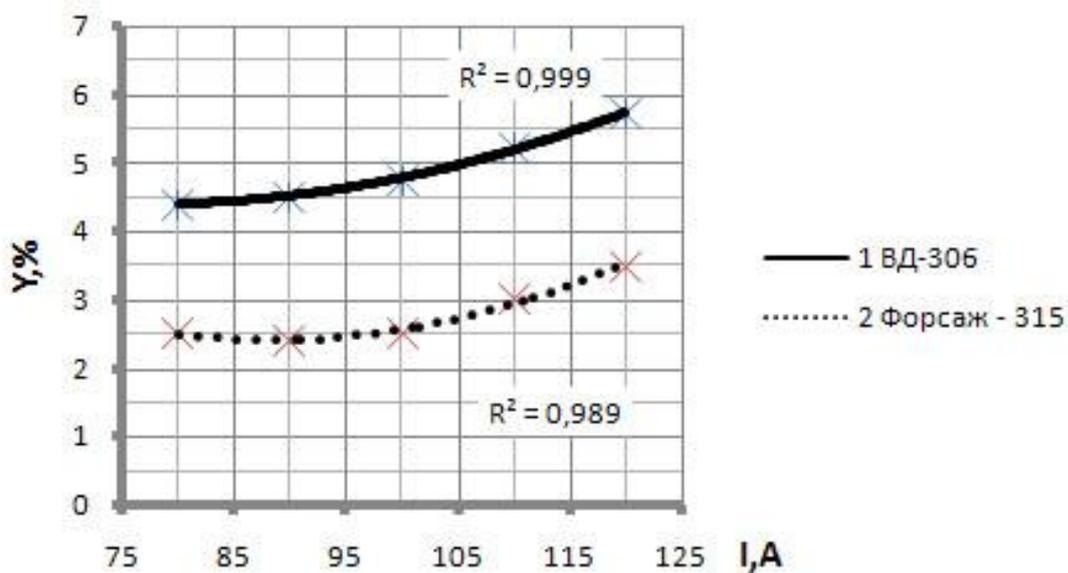


Рисунок 2 – Влияние силы тока на величину разбрызгивание электродного металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами диам. 3 мм ЛВ 52 (основное покрытие)

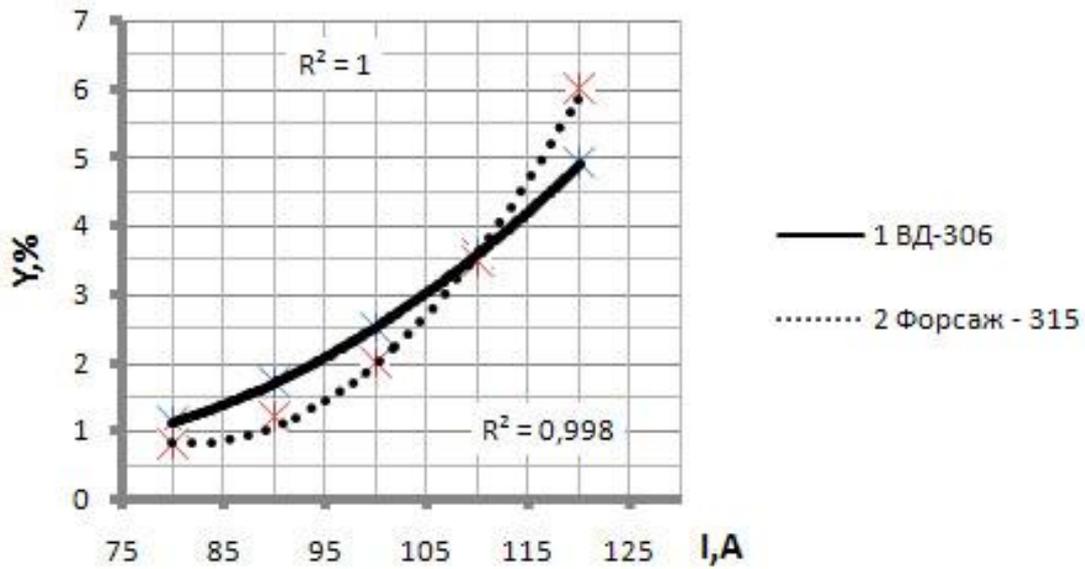


Рисунок 3 – Влияние силы тока на величину разбрызгивания электродного металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами диаметром 3 мм УОНИ 13/55 (ЭСАБ) (основное покрытие)

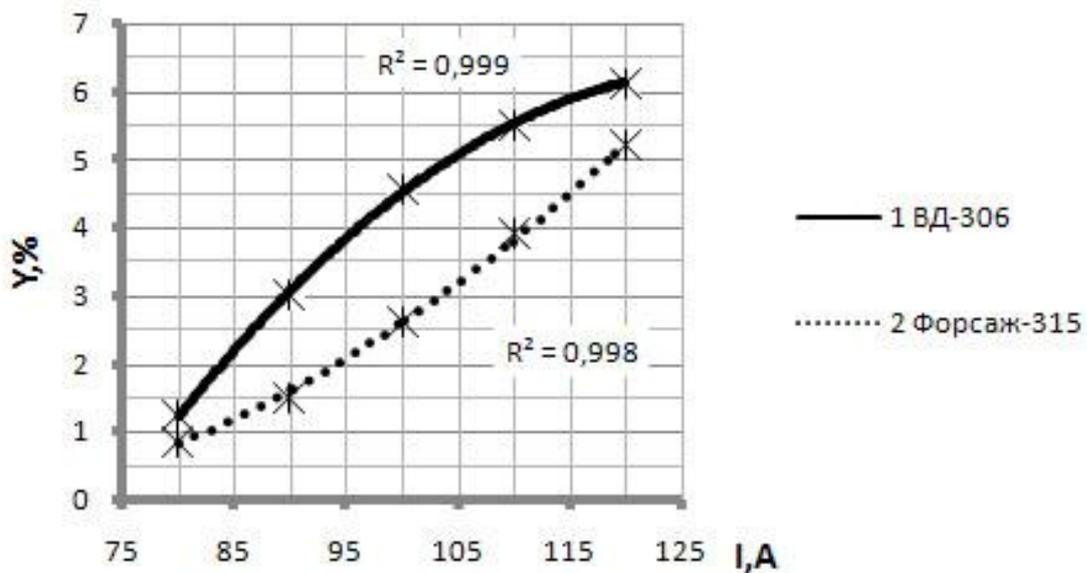


Рисунок 4 – Влияние силы тока на величину разбрызгивания электродного металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами диаметром 3 мм ОЗС 4 (ильменитовое покрытие)

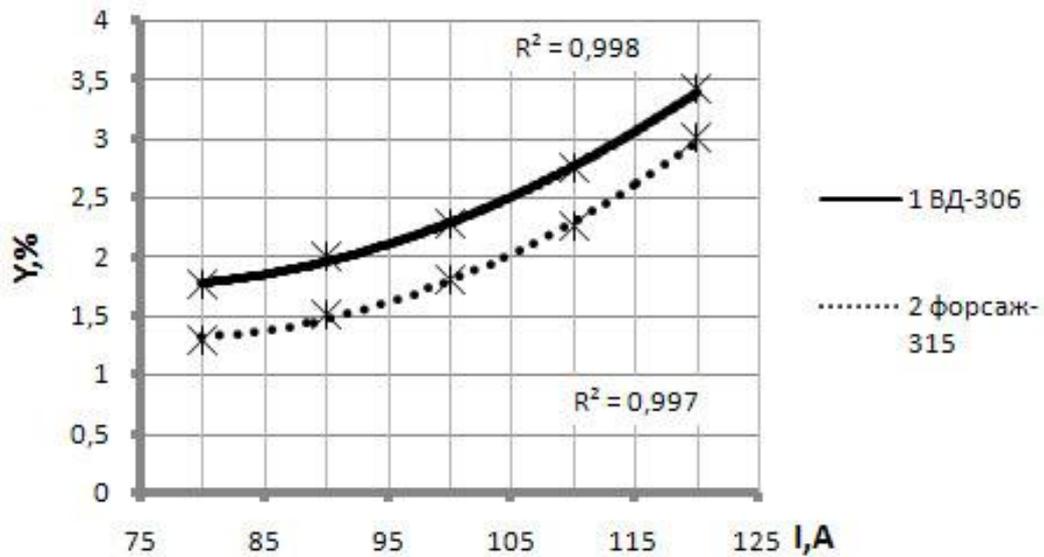


Рисунок 5 – Влияние силы тока на величину разбрызгивания электродного металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами диаметром 3 мм МР-3 (ЭСАБ) (рутиловое покрытие)

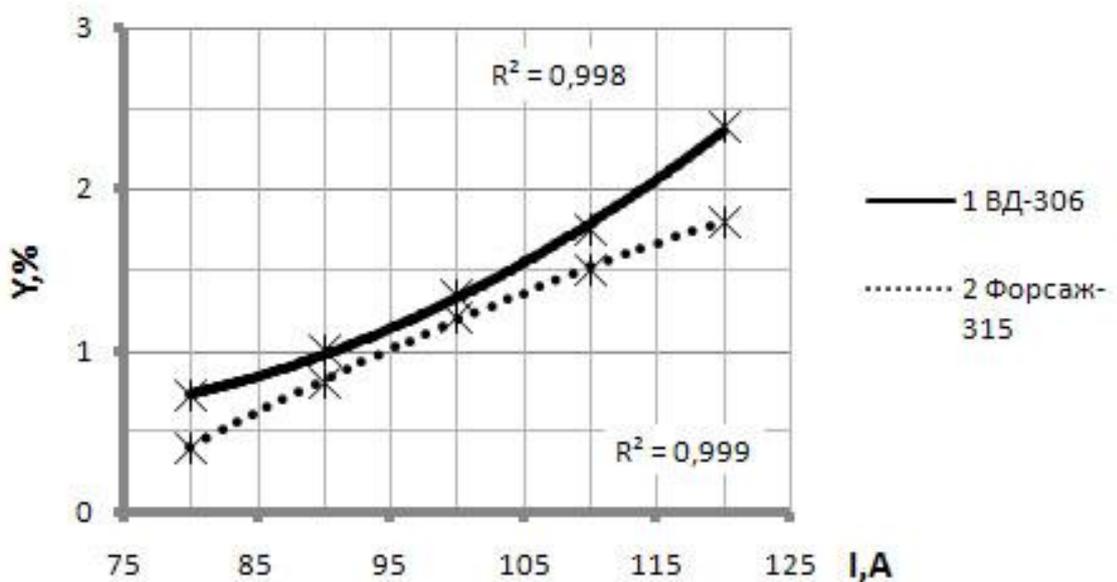


Рисунок 6 Влияние силы тока на величину разбрызгивания электродного металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами диаметром 3мм МР3 (рутиловое покрытие)

Анализ экспериментальных данных позволил описать полученную зависимость (в диапазоне сварочного тока 80 – 120 А) математическим уравнением вида:

$$y = ax^2 + vx + c, \quad (2)$$

где – а, в, с – эмпирические коэффициенты.

Эмпирические коэффициенты для каждой марки покрытых электродов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Эмпирические коэффициенты для различных марок покрытых электродов

Марка электрода	Коэффициенты для кривой 1	Величина достоверности аппроксимации, $R^2$	Коэффициенты для кривой 2	Величина достоверности аппроксимации, $R^2$
ОК 53.70	a=0,003; в=-0,584; с=27,3	0,999	a=0,0047; в=-0,881; с=41,55	0,992
ЛВ 52U	a=0,0007; в=-0,1148; с=8,86	0,999	a=0,0013; в=-0,225; с=12,5	0,989
ОЗС	a=-0,0022; в=0,562; с=-29,64	0,999	a=0,0011; в=-0,106; с=2,5	0,998
Мр3	a=0,0005; в=-0,063; с=2,44	0,998	a=-0,0003; в=-0,085; с=-4,8	0,997
МР3 (ЭСАБ)	a= 0,0008; в=-0,1163; с=6,02	0,998	a=0,0009; в=-0,1325; с=6,3	0,999
УОНИ 13\55	a=0,0012; в=-0,1148; с=8,86	1	a=0,0035; в=-0,57; с=24	0,998

Выводы:

1) Получены сравнительные зависимости величины разбрызгивания от силы сварочного тока в зависимости от источника питания электродами с различных марок. Установлено, что при сварке от инверторного источника питания разбрызгивание меньше, чем от тиристорного.

2) Получена математическая формула, описывающая эти зависимости (в диапазоне сварочного тока 80 – 120 А).

Библиографический список

1. Конищев Б.П. Достоинства и недостатки электродов с различными видами покрытия // Сварщик профессионал. – 2006. – № 8. – С. 24.

2. Сапожков С.Б., Ястребов А.П., Ильященко Д.П. Проблемы разбрызгивания металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами // *Технология машиностроения*. – 2005. – № 3. – С. 23 – 31.
3. Сварка в СССР. Том 1. Развитие сварочной техники и науки о сварке // *Технологические процессы, сварочные материалы и оборудование*. – М.: Наука, 1981. – 534 с.
4. Федько В. Т. Теория, технологические основы и средства снижения трудоемкости при сварке в углекислом газе. Томск: Томский политехнический университет, 2004. – 398 с.
5. Ильященко Д.П. Сапожков С.Б. Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и способы его снижения. *Сварочное производство*. – 2007. – № 12. – С. 28 – 31.
6. А.И. Лауджауст, Ч.А. Казакиявичус Влияние параметров источника питания на разбрызгивание металла при сварке покрытыми электродами // *Автоматическая сварка*. – 1976. – № 4. – С. 24 – 30.
7. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие / Под ред. В.В. Смирнова. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 656 с.: ил.

УДК 621.791.76.

## **КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МАТЕРИАЛОВ С ЗАРАНЕЕ ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ\***

Рудаков С.Г., Катунина А.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Сварные соединения из материалов с термомеханической памятью должны обладать физико-механическими свойствами близкими к основному металлу. Основной характеристикой у сварных конструкций является усилие, развиваемое при восстановлении формы. Большое разнообразие разработанных конструкций для различных разделов скелета человека предопределяет различные величины значений этих усилий. Диапазон параметров может достигать от десятых долей до сотен ньютонов.

В СибГИУ разработан и изготовлен прибор для контроля механических свойств конструкций из никелида титана.

Для измерения деформаций, сил и механических напряжений наиболее часто используются тензорезисторы, механические, пьезоэлектрические и индуктивные тензометры.

Тензорезисторы могут использоваться в качестве «свободных» преоб-

---

\* Работа выполнена при поддержке Совета грантов Президента Российской Федерации. Грантополучатель Зернин Е.А. Номер гранта МК-3993.2008.8.

разователей или в виде наклеиваемых. «Свободные» – выполняются в виде одной или ряда проволок, закрепленных между подвижной и неподвижной деталями. Входной величиной в этом случае является малое перемещение подвижной детали.

Наиболее распространено применение наклеиваемых тензорезисторов. Такой преобразователь, будучи приклеенным к детали, воспринимает деформации ее поверхностного слоя. Эта деформация и является входной величиной преобразователя.

Обычно измерительная база 5 – 20 мм, сопротивление тензорезисторов 30 – 500 Ом.

В последнее время применяются пленочные тензорезисторы, получаемые возгонкой в вакууме тензочувствительного материала (титано-алюминиевые сплавы, полупроводники) на подложку. У последних коэффициент тензочувствительности может достигать 120.

Тензорезисторы могут измерять деформации от 0,005 до 2 %.

Для измерения деформаций могут также применяться пьезоэлектрические, индуктивные и магнитные преобразователи.

Наиболее простыми в изготовлении и обладающими достаточной чувствительностью следует считать преобразователи на проволочных тензорезисторах. Основные схемы их применения показаны на рисунке 1.

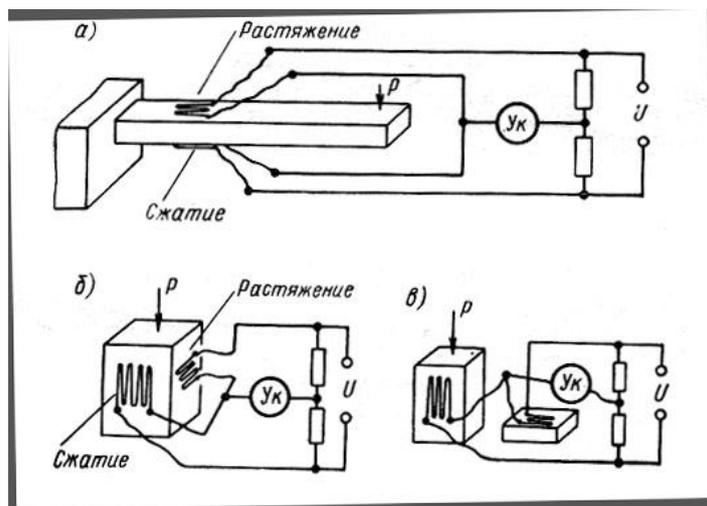


Рисунок 1 – Схемы включения тензорезисторов

Необходимо учитывать, чтобы деформация измерительного элемента не превышала допустимую для конкретного типа резисторов.

Тензорезисторы обычно включаются по мостовой или по полумостовой схеме (во втором случае вторая часть моста может находиться в измерительном приборе). Увеличить чувствительность можно, поместив соседние резисторы мостовой схемы в места, испытывающие равные, но противоположные по знаку деформации (очень легко осуществить при изгибе).

Структурная схема измерения усилий по деформации упругого элемента представлена на рисунке 2.

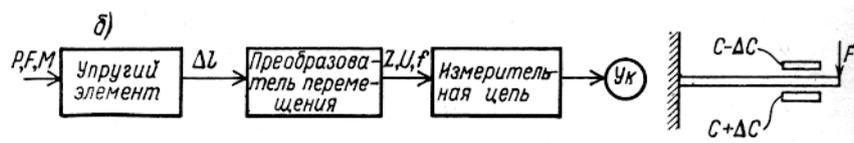


Рисунок 2 – Структурная схема измерителя на упругом элементе

Здесь измерению может подвергаться относительная деформация  $\Delta l/l$  или механические напряжения  $\sigma$ , так и абсолютные изменения размеров или положения упругого элемента.

Конструкции упругих элементов могут быть различны, основными требованиями к ним являются: воспроизводимость показаний, минимальные погрешности гистерезиса и линейности.

Нами выбрана форма упругого элемента – балка равного сопротивления, обеспечивающая постоянство деформации в любой точке по длине его.

Для расчета геометрии упругого элемента воспользуемся данными по геометрическим и силовым характеристикам основных типов фиксаторов из никелида титана:

- базовая длина фиксаторов 15 – 100 мм;
- диапазон развиваемых усилий 1 – 15 даН.

При измерении усилий, развиваемых конструкциями с памятью формы, в приборе необходимо соблюдать условие постоянства измерительной базы при каждом замере; опытным путем установлено допустимое отклонение этого параметра (т.е. стрела прогиба измерительного элемента) в 0,5 мм.

Допустимая деформация тензометрических датчиков составляет до 0,05 %. При известной стреле прогиба 0,5 мм и максимальном усилии на упругий элемент в 15 даН можно рассчитать геометрию этого элемента.

*Итак:*

1. Допустимая стрела прогиба 0,5 мм;
2. Допустимая деформация материала упругого элемента на поверхности 0,05 %;
3. Модуль упругости для стали  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа;
4. Принятые размеры упругого элемента: длина 80 мм, ширина у основания 15 мм;
5. Максимальное усилие на конец элемента 15 даН.

Для измерения статических и медленно изменяющихся деформаций применяются приборы, действие которых основано на нулевом принципе измерений. Этот метод бесспорен по точности.

Простейшие приборы имеют основной недостаток, связанный с возможностью выхода измерительного прибора при случайном обрыве одного из резисторов. Необходимы специальные защитные устройства.

Применение усилителей постоянного тока позволяет применять низкочувствительные приборы и решают вопросы ограничения тока. Основной недостаток – нестабильность работы усилителей во времени (дрейф нуля).

Как уже было сказано ранее, обычно основу измерительной схемы при

использовании тензорезисторов составляет мост Уитстона.

Применим стандартные тензорезисторы марки на бумажной основе ПКБ-200-10 с сопротивлением  $200 \pm 0,3$  Ом и базой измерения 10 мм. Коэффициент тензочувствительности  $K = 2,02$ , допустимая деформация – 0,05 %.

Мостовой схеме необходим источник питания, требования к которому исходят из следующих обстоятельств. При прохождении электрического тока по проводнику в нем, согласно закону Джоуля-Ленца, выделяется тепло.

Нагрев проводника приводит к увеличению его сопротивления, а для тензорезисторов это равносильно появлению измеряемого параметра (силы, деформации и т.д.), т.к. температура датчиков при одном и том же значении силы тока может быть неодинаковой вследствие разного теплоотвода в различных местах размещения их на изделии.

Для указанного типа тензорезисторов (ПКБ 200-10) рекомендуемая сила тока не более 0,01 А. Для исключения влияния колебаний напряжения электрической сети на работу схемы измерения предложено источник питания выполнить в виде стабилизатора напряжения.

Тарировка прибора сводилась к определению и подгонке конечных пределов измерения гальванометра на разных пределах измерения.

Пределы измерения установлены в 1, 2,5, 5, 10 и 15 даН.

Прибор прошел технические испытания во Всероссийском научно-практическом центре имплантатов с памятью формы и эксплуатируется с 2001 г. при изготовлении погружных конструкций для контроля механических характеристик после полного цикла сварки и термообработки.

УДК 621.121

## **ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ МЕТАЛЛА ШВА РАЗРУШЕНИЮ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ В СЛУЧАЕ ДВУОСНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ**

ТЮМЕНЦЕВ И.Г., ЕГОРОВ В.Ф., ПОЛИЩУК С.В., ТЮМЕНЦЕВ М.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Основное направление в использовании низколегированных высокопрочных тонколистовых сталей – это изготовление конструктивных элементов транспортных установок в виде емкостей для топлива, сжатого или сжиженного газа. Емкости могут иметь различную геометрию и быть в виде шара, цилиндра и т.д. Условия работы тонкостенных сосудов обычно характеризуются наличием статического внутреннего давления, создаваемого однократно или многократно, на короткое или длительное время, при нормальной, повышенной или пониженной температуре.

Сосуды, изготавливаемые из высокопрочных сталей, чаще всего применяются в тех случаях, когда требование минимальной массы является ос-

новным. Поэтому изготовление конструкций из этих материалов, имеющих высокую удельную прочность, высокую чувствительность к концентрации напряжений, изменения механических свойств под действием термического цикла сварки, требует совершенства методов сварки и обеспечения равнопрочности основного металла и сварного соединения.

Испытания, проводимые с целью определения прочностных характеристик, путем растяжения, статического изгиба, определения ударной вязкости образцов, не могут полностью отразить работоспособность сварного соединения в условиях сложного напряженного состояния, характерного для сосудов давления. Это обстоятельство можно объяснить тем, что металл шва характеризуется анизотропией механических свойств. Анизотропия механических свойств металла шва проявляется в результате неоднородности структуры, появления несплошностей в виде пор, микротрещин и т.д. В результате этого работоспособность сварного соединения в условиях сложного напряженного состояния может резко снижаться, хотя испытания при одноосном растяжении или изгибе могут давать положительные результаты. Поэтому для оценки работоспособности сосудов, работающих под внутренним давлением, в последние годы все большее применение находят испытания основного металла и сварных соединений методом гидростатического выпучивания. В данном случае в сварном образце возникает плоское напряженное состояние, позволяющее наиболее полно выявить работоспособность соединения.

Для оценки эксплуатационных свойств сварного соединения, полученного при сварке в оптимальном диапазоне режимов ЭМВ (электромагнитного воздействия), в условиях симметричного двухосного растяжения в работе использована методика и оборудование, разработанные в МВТУ им. Н.Э. Баумана под руководством Куркина С.А.

Испытания проводились для образцов из стали КВК-32, диаметром 300 мм, имеющими диаметральный швы, полученные при сварке в аргоне без присадочного материала. Скорость сварки составляла  $2,5 \cdot 10^{-3}$  м/с (9 м/ч). Сварка осуществлялась без ЭМВ (электромагнитное воздействие), ЭМВ и при механических колебаниях электрода. Для испытаний на выпучивание была использована установка УДР.

Согласно методике испытаний оценка прочностных свойств сварного соединения производится путем сравнения напряжений, возникающих при разрушении образца с уровнем напряжений в основном металле. Для этого образец без шва ступенчато нагружался до разрушения в установке УДР. После каждой ступени нагружения образец извлекался из установки и производились замеры изменения радиуса кривизны и толщины образца в области зенита, где возникает плоское напряженное состояние (рисунок 1).

Используя выражение

$$R = \frac{K}{h} + \frac{h}{2},$$

где  $R$  – радиус кривизны в зените образца, мм;  
 $K$  – постоянный коэффициент, зависящий от кривизны;  
 $h$  – данные измерений, мм, согласно рисунку 1, определены условные напряжения.

$$\sigma_{\text{усл}} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot t_0}$$

где  $P$  – давление под образцом на данной стадии нагружения;  
 $t_0$  – начальная толщина образца.

Истинные напряжения

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot R}{2 \cdot t}$$

где  $t$  – толщина образца в зените на данной стадии нагружения, в зависимости от пластической деформации по толщине образца в зоне действия двусосного растяжения.

$$\varepsilon_{\text{зр}} = \ell \cdot h \frac{t_0}{t}$$

В результате испытаний и расчетов для основного металла получили зависимости  $\sigma_{\text{усл}}$  и  $\sigma_1$  от  $\varepsilon_{\text{зр}}$ , приведенные на рисунке 2.

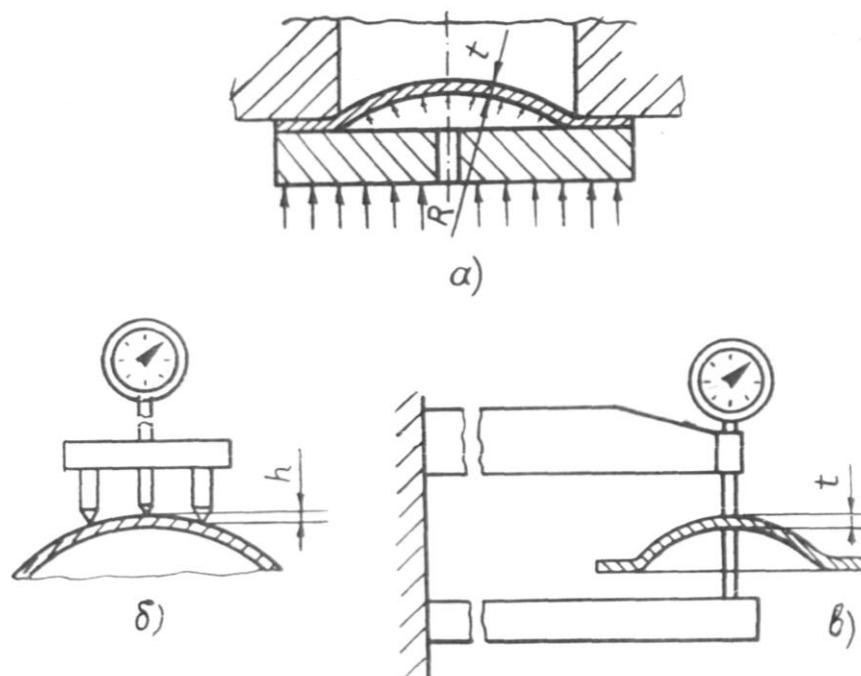


Рисунок 1 – Схема испытания гидростатическим выпучиванием через круглое отверстие (а); измерение кривизны выпучивания (б); измерение толщины образца (в)

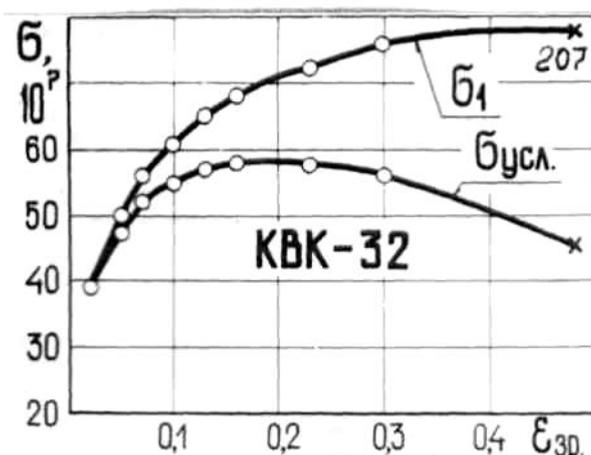


Рисунок 2 – Зависимость  $\sigma = f(\epsilon_{зр})$ , полученная при гидростатическом выпучивании

Имея такую зависимость, можно производить испытания сварных соединений. Для испытаний были подготовлены образцы со швами, которые вылеживались в течение двух месяцев. Результаты испытаний приведены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что для образцов, полученных при сварке с ЭМВ, прочность в среднем возросла на 47 % по сравнению с прочностью сварных соединений, полученных при сварке без ЭМВ и с механическими колебаниями дуги. Следует отметить, что разрушение образцов со швами, полученными без ЭМВ и с механическими колебаниями происходило в основном вдоль оси шва, а для образцов, полученных с ЭМВ, поперек продольной оси шва.

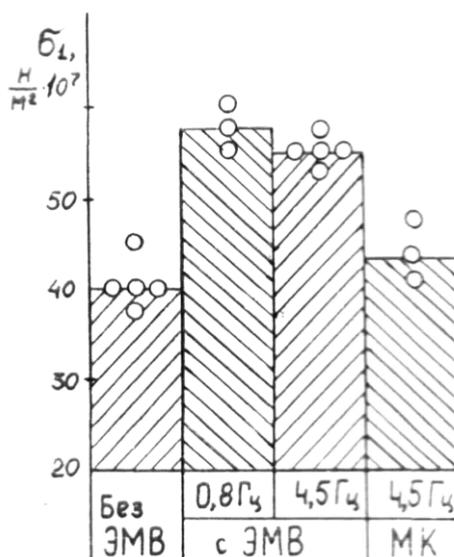


Рисунок 3 – Влияние режимов ЭМВ и частоты механических колебаний электрода на конструкционную прочность сварного соединения стали KVК-32

Таким образом, эффективность применения сварки в переменном электромагнитном поле еще раз показана в результате проведенных испытаний.

УДК 621.791

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИЛЬМЕНИТОВЫМ ПОКРЫТИЕМ**

ИГУШЕВ В.Ф., ВОСТРЕЦОВ Г.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Заводы – изготовители электродов уделяют проблеме повышения качества особое внимание, занимаясь модернизацией производства, совершенствованием технологии, ужесточением технологической дисциплины. Эти мероприятия приводят к росту конкурентоспособности электродов, но качество их оставляет желать лучшего. Причина отставания качества отечественных электродов от импортных кроется здесь в составах покрытий и в качестве компонентов, входящих в состав покрытия.

Анализ каталогов электродов ведущих мировых фирм показывает, что для сварки низкоуглеродистых сталей там применяются электроды с рутиловым покрытием. У нас в России также наибольшее применение нашли электроды общего назначения типа Э-46 с рутиловым покрытием. Эти электроды имеют хорошие сварочно-технологические свойства. Ими можно выполнять сварку на переменном и постоянном токах. Они не требовательны к чистоте поверхности свариваемых изделий и имеют низкую токсичность. Благодаря этому данные электроды пользуются повышенным спросом в сварочном производстве. Однако в последнее время из-за отсутствия рутилового концентрата и низкоуглеродистого ферромарганца выпуск этих электродов осложняется.

В последние годы (более 10 лет) в составе покрытия широко известной марки электродов МР-3 дефицитный рутиловый концентрат наполовину заменен ильменитовым концентратом. В связи с низкой ценой ильменита и необходимостью снижения себестоимости электродов в условиях ужесточившейся конкуренции производителей электродов в последние годы резко возрос интерес к ильменитовым электродам. В настоящее время стали выпускаться в России и за рубежом электроды типа Э-46 с ильменитовым покрытием. Появление ильменитовых электродов не изменило общей невысокой оценки этих электродов. Результаты испытаний ильменитовых электродов показали недостаточный уровень сварочно-технологических свойств: повышенное разбрызгивание, затрудненную отделимость шлака, неудовлетворительное формирование корня шва при сварке стыковых соединений в

разделку. В то же время широко используемые за рубежом ильменитовые электроды имеют свои преимущества при хорошей экономической эффективности. Интерес к ильменитовым электродам актуален.

Данная работа посвящена дальнейшему совершенствованию ильменитовых покрытий.

В России нет собственных промышленно разрабатываемых месторождений титаносодержащего сырья. Все известные крупные освоенные месторождения данных минералов находятся на территории Украины. Российские производители электродов испытывают дефицит титаносодержащего сырья, ежегодно ввозят его из-за границы. Однако на территории России находятся значительные запасы циркон-ильменитового сырья. Анализ химического состава ильменитовых концентратов разных месторождений показывает, что концентраты имеют различные составы. Все составы ильменитовых покрытий разработаны с учетом использования Украинского ильменита, который поставляется по техническим условиям и имеет в своем составе около 62 % окислов титана, остальное окислы железа. Российские ильменитовые концентраты содержат примерно 45 – 58 % окислов титана, 20 – 35 % окислов железа, 2 – 21 % окислов кремния, остальные окислы представлены в небольшом количестве (окислы алюминия, магния, кальция).

Остановимся подробнее на причинах ухудшения сварочно-технологических свойств электродов с ильменитовым покрытием и как их устранить.

Снижение сварочно-технологических свойств электродов с ильменитовым покрытием происходит вследствие наличия окислов железа. Усвоение основных элементов – марганца и кремния при использовании данных электродов менее эффективно, а коэффициенты перехода этих легирующих ниже, чем у покрытий на основе рутила, что связано с активизацией процессов восстановления окислов железа марганцем и кремнием и потерей этих элементов со шлаком.

Также известно, что для электродных покрытий на основе диоксида титана характерно проявление кремневосстановительного процесса, поэтому замена ферромарганца на ферросилиций обычно не допускается. В тоже время в ряде работ установлено, что интенсивность кремневосстановительного процесса может быть снижена за счет введения в покрытие основных окислов (CaO, MgO, FeO). Это дает основание полагать, что при использовании в электродных покрытиях низкообогащенного ильменитового концентрата, содержащего окислы железа в сочетании с компонентами, снижающими окислительный потенциал формирующегося шлака, существует возможность снижения содержания количества ферромарганца в составе покрытия и подавления кремневосстановительного процесса.

При использовании ильменитового концентрата в покрытии повышается содержание окислов железа в шлаке, вследствие чего наблюдается интенсивный переход кислорода из шлака в металл, увеличивается количество неметаллических включений, ухудшается отделимость шлака после сварки.

В составе включений возрастает содержание окислов железа. Содержание окислов железа в шлаке рекомендуется не более 14 – 16 %. Активность окислов железа можно снизить путем введения в покрытие окислов титана и алюминия. Последние образуют комплексные соединения, включающие в себя окислы железа типа  $Al_xO_y \cdot Ti_zO_j(FeO)_k$  и снижают их активность. Для эффективного снижения активности окислов железа рекомендуется в составе покрытия соблюдать следующие соотношения –  $TiO_2/Fe_2O_3 \geq 0,4 - 1,0$ ;  $Al_2O_3/Fe_2O_3 \geq 0,3 - 0,8$ .

Небольшой спад интенсивности кремневосстановительного процесса, который наблюдается при введении ильменитового концентрата в покрытие электрода, позволяет вносить дополнительно небольшое количество окислов кремния в покрытие. Кремнезем в соединении с окислами железа и кальция способен образовывать в расплаве фазы типа метасиликатов железа, которые, поступая в шлак, значительно улучшают отделимость его от металла.

В настоящей работе при разработке состава покрытия электродов общего назначения на основе ильменитового концентрата с применением местных источников сырья были учтены вышеприведенные рекомендации.

В качестве шлако- и газообразующих использовали мрамор и талькомагнезит. Шлаковую защиту создают ильменитовый концентрат, который поставляет в шлак окислы титана, железа и кремния. Мрамор поставляет окислы кальция. Талькомагнезит вносит в состав шлака окислы магния и кремния. В небольшом количестве вносили слюду мусковит, которая улучшает пластичность обмазочной массы и поставляет окислы кремния и алюминия в шлак.

В состав покрытия вносили также ферромарганец, который частично легирует металл, а оставшаяся часть раскисляет металл шва в хвостовой части ванны.

Недостающее количество окислов титана вносили в виде рутила или ферротитана. Титан окисляется на стадии капли и повышает содержание окислов титана в шлаке.

В составе покрытия ильменитовый концентрат и рутил поставляет окислы титана в шлак, а слюда мусковит – окислы алюминия. Эти окислы снижают активность окислов железа и позволяют получить металл с невысоким содержанием кислорода.

На основании разработанного состава покрытия с ильменитовым концентратом была изготовлена опытно-промышленная партия электродов, исследованы сварочно-технологические свойства электродов и определены механические свойства металла шва и химический состав.

Проведены квалификационные испытания данных электродов.

Результаты испытаний показали, что предлагаемое электродное покрытие обеспечивает хорошие сварочно-технологические свойства электродов.

Данными электродами можно варить на постоянном и переменном токах по незачищенным кромкам металла.

Электроды не склонны к образованию козырька, что связано с низкой температурой плавления шлака. Получающийся шлак имеет основность близкую к единице, содержание окислов железа меньше 14 % и большое содержание окислов титана.

Формирование шва хорошее, которое достигается правильно подобранным составом шлака, включающим в себя как основные, так и кислые окислы.

Механические свойства металла шва соответствуют требованиям ГОСТа 9466-75 и электродам типа Э-46.

Данные электроды рекомендуются для сварки металлоконструкций общего назначения из углеродистых сталей.

УДК658.62.018(075)

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ОСНОВАННЫХ НА ПРОЦЕССНОМ ПОДХОДЕ**

Малушин Н.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время появилась необходимость всем предприятиям, ориентированным на международный рынок или функционирующим на внутреннем рынке, иметь у себя систему менеджмента качества, отвечающую требованиям международных стандартов серии ИСО 9000 версии 2000 года, а также принципам и методологии всеобщего управления качеством (TQM). *TQM – подход к руководству организацией, независимо от вида ее деятельности, масштаба и форм собственности, нацеленный на качество, основанный на участии всех ее членов и направленный на достижение долговременного успеха путем удовлетворения потребителя, как внутреннего так и внешнего, и выгоды для всех членов организации и всего общества.*

Управление качеством в сварочном производстве прошло все основные этапы развития как и любое другое производство, производящее продукцию. В эволюции работ по управлению качеством выделяют 6 исторических этапов: индивидуальный контроль качества, цеховой контроль качества, технический или приемочный контроль качества, статистический контроль качества, комплексное управление качеством и всеобщее управление качеством (TQM) на основе международных стандартов серии ИСО 9000. На этапе контроля качества продукции в сварочном производстве создаются службы технического контроля, в состав которых входит сварочная лаборатория. Качеству сварных соединений всегда уделялось повышенное внимание, так как от этого напрямую зависит работоспособность и надежность всей конструкции в целом. Этап приемочного контроля качества продукции

условно связывают по времени с 30 – 40-ми годами прошлого века.

В связи с переходом к массовому выпуску продукции и большими объемами контроля сварных соединений в последующие годы выделяют этап статистического контроля качества. Наиболее существенной характеристикой статистического контроля качества является переход от сплошного контроля к выборочному, при котором в процессе производства систематически отбираются в соответствии с заранее составленным планом контрольные данные для их обработки методом математической статистики. Внедрение статистических методов позволило в значительной мере повысить эффективность сварочного производства без снижения надежности и работоспособности сварных соединений.

В дальнейшем пришли к пониманию того, что качество формируется на всех этапах жизненного цикла продукции. Типичные этапы жизненного цикла продукции, схематически представляют в виде петли или спирали качества.

Основные этапы жизненного цикла продукции или предоставляемых услуг:

1. Маркетинг и изучение рынка.
2. Проектирование и наработка продукции.
3. Планирование и разработка процессов.
4. Закупки.
5. Производство или предоставление услуг.
6. Проверки.
7. Упаковка и хранение.
8. Реализация и распределение.
9. Установка и ввод в эксплуатацию.
10. Техническая помощь и обслуживание.
11. Послепродажная деятельность.
12. Утилизация или переработка в конце последнего срока службы.

Выход из каждого этапа жизненного цикла продукции служит входом для последующего; каждый этап заканчивается прежде, чем начинается следующий – в противном случае приходится работать с неполными исходными данными

В 60-70-е годы XX века стали создаваться специальные службы управления качеством, в состав которых наряду с группой технического контроля включались группы, ответственные за планирование и координацию работ в области качества всех подразделений предприятия, разработку документации по качеству, работу с поставщиками, анализ надежности изделий и причин их дефектов и отказов, выработку критериев оценки качества труда, разработку специальных методов обеспечения качества, анализ информации о качестве продукции от потребителя и др. На этом этапе стали разрабатываться и внедряться комплексные системы управления качеством (TQC). Наиболее известными из них в нашей стране были системы качества БИП, СБТ, НОРМ, КАНАРСПИ и другие.

Проблема обеспечения качества имеет международный характер. Международный институт по стандартизации (ИСО), является крупнейшей неправительственной организацией, целью которой является содействие развитию стандартизации в мировом масштабе для обеспечения международного товарообмена и взаимопомощи.

Поиск оптимальных путей обеспечения качества продукции, приемлемых для всего мирового сообщества, обусловил разработку и широкое внедрение концепции международных стандартов ИСО серии 9000.

В настоящее время на 6-ом этапе действуют международные стандарты на системы качества серии ИСО 9000 версии 2000 года. Основой этих стандартов является модель системы менеджмента качества, основанная на процессном подходе. В свою очередь эта модель базируется на модели превосходного бизнеса (Business Excellence Model-ВЕМ) и принципах всеобщего управления качеством. Сущность модели превосходного бизнеса заключается в процессном подходе. ВЕМ основывается на принципе, согласно которому процессы являются средством, раскрепощающим таланты сотрудников организации для повышения эффективности их работы.

Процессы и люди рассматриваются как «Enables» (возможности), которые производят «результаты», измеряющие их работу. Модель предполагает, что удовлетворение потребителя, работников и воздействие на общество достигается в результате руководства, осуществляющего политику и стратегию, менеджмента сотрудников, ресурсов и процессов. В пределе это приводит к превосходным результатам в бизнесе.

Принципы менеджмента качества, зафиксированные в международных стандартах на системы менеджмента качества серии ИСО 9000 версии 2000 года должны стать *основой Новой политики организации.*

Восемь основных принципов менеджмента качества:

1) *Сосредоточенность на клиента.*

Клиент нанял нас на работу, и наше благополучие зависит от его удовлетворения. Внешнего клиента возможно удовлетворить только через удовлетворение внутреннего клиента (работника).

2) *Лидерство руководства.*

«Я обязуюсь перейти на новые (непрерывно совершенствовать) методы управления и буду примером в области качества!»

«Я буду создавать и поддерживать атмосферу бережного и внимательного отношения к персоналу организации!»

3) *Вовлечение людей (сотрудников).*

Делегирование прав (власти) нижестоящим работникам.

Не контролировать и наказывать, а анализировать и помогать.

4) *Процессный подход.*

Каждый процесс непрерывно подвергается анализу по всем его составляющим.

Персоналу, который осуществляет каждый процесс, предоставляется все необходимое для его качественного осуществления.

5) *Системный подход к менеджменту.*

В организации существует система законов и правил, которые обязательны для всех сотрудников, включая высшее руководство.

Взаимодействие процессов непрерывно подвергается анализу по всем его составляющим для их улучшения.

6) *Непрерывное улучшение.*

То, что сегодня отвечает требованиям, завтра может стать (будет) безнадежно устаревшим.

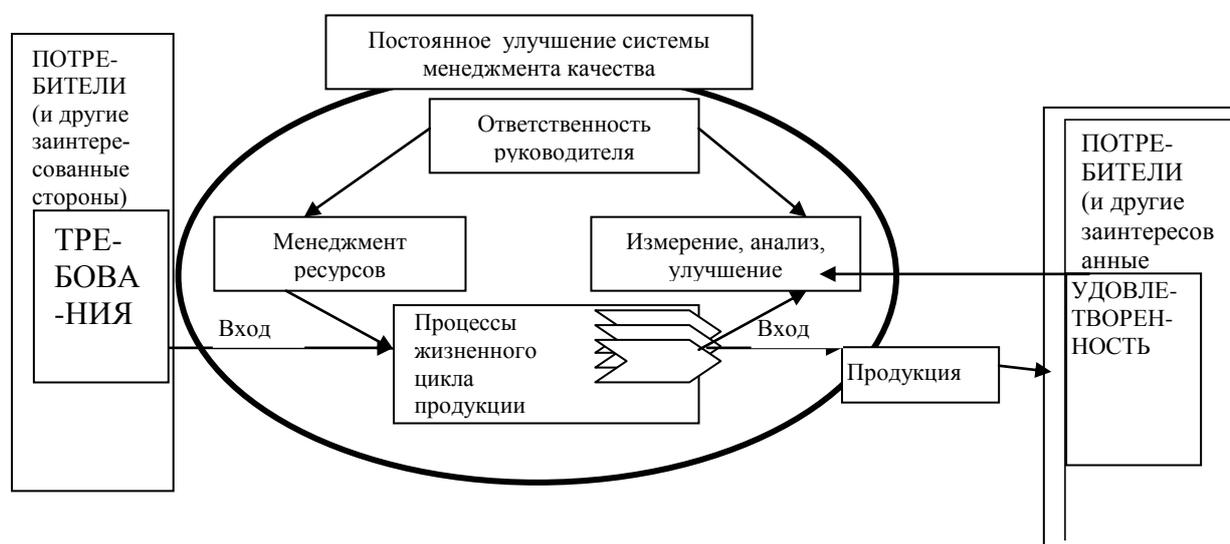
7) *Подход к принятию решения, основанный на фактах.*

Я не могу возразить, т.к. это истинно.

8) *Взаимовыгодные отношения с поставщиками.*

Мы единая цепочка. Надо помогать друг другу.

Модель системы менеджмента качества, основанная на процессном подходе представлена на рисунке 1.



—————▶ деятельность, добавляющая ценность; ◀----- поток информации

Рисунок 1 – Модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе

Наличие на предприятии, в том числе сварочного профиля, функционирующей системы менеджмента качества и особенно сертифицированной международным органом по сертификации является основой благополучия и успеха.

Примером такого успешно работающего предприятия является Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций. ОАО «НЗРМК» зарекомендовал себя надежным производителем продукции с гарантией высокого качества по конкурентоспособным ценам, полностью выполняющим условия контрактов в срок, система качества которого подтверждена сертификатом компании «Loid`s Register» согласно ИСО 9001.

Результативность действующей системы по обеспечению качества продукции подтверждается тем, что за последние годы на завод не поступило ни одной рекламации от потребителей.

Способность завода выпускать качественную продукцию подтверждается действующей с 1991 года системой менеджмента качества, которая соответствует Международному стандарту ИСО 9001.

С 1992 года завод сотрудничает с Промышленным отделом Регистра Ллойда и ежегодно подтверждает соответствие системы качества Промышленной схеме Регистра Ллойда и стандарту ИСО 9001 с получением сертификата. Система качества одобрена Отделом качества Регистра Ллойда. Также получен сертификат соответствия Системы качества ГОСТ Р ИСО 9001:94 органа по сертификации Госстандарта и Госстроя России – Федерального научно-технического центра сертификации в строительстве.

Регистром Ллойда проведен сертификационный аудит ОАО НЗРМК по новой версии стандартов ИСО 9001- 2000 года. По результатам аудита система менеджмента качества завода получила высокую оценку. Соответствие системы менеджмента требованиям ИСО 9001-2000 подтверждено соответствующими сертификатами.

Сертификационный аудит системы менеджмента качества органом по сертификации Госстандарта и Госстроя России – Федеральным научно-техническим центром сертификации в строительстве, также подтвердил соответствие системы качества требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001. В настоящее время на заводе успешно функционирует и постоянно совершенствуется сертифицированная система менеджмента качества.

Разработка и внедрение систем менеджмента качества в сварочном производстве, основанных на процессном подходе, даже в отдельных цехах металлоконструкций, наплавки и напыления, будет способствовать повышению качества выпускаемой продукции и эффективности производства.

УДК 621.791.92

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ГОРЕЛОК ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ**

Малушин Н.Н., Крутский Ю.Л., Устинов В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет*

*г. Новокузнецк*

*Новосибирский государственный технический университет,*

*Центральный научно-исследовательский институт Олово*

*г. Новосибирск*

Для восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов широко применяется наплавка. Решению задач, стоящих перед наплавкой, способствуют и другие технологии упрочнения и, прежде всего, напыление. На-

пыление представляет собой процесс нанесения покрытия на поверхность детали с помощью высокотемпературной скоростной струи, содержащей частицы напыляемого металла, осаждающиеся на основном металле при ударном столкновении с его поверхностью. В отличие от наплавки при напылении не происходит расплавление поверхности основного металла. Покрытие образуется из отдельных расплавленных или близких к этому состоянию частиц, которые при столкновении с поверхностью основного металла расплющиваются, образуя тонкий слой, механически сцепленный с поверхностью основного материала.

В работе рассмотрен вопрос восстановления и упрочнения горелок газовой турбины GTM7, используемой для выработки электроэнергии на ОАО «Новосибирский оловянный комбинат». Горелки эксплуатируются в тяжелых условиях при температуре продуктов сгорания, содержащих до 11 % об. кислорода, примерно 1150 °С). Вследствие этого в ходе эксплуатации горелок происходит «разгар» их торцов на глубину до 2 мм.

При исследовании возможности реставрации горелок был изучен материал, из которого они изготовлены. Установлено, что эта сталь является аналогом отечественной жаростойкой стали марки 10X23H18 по ГОСТ 5632–72. Сталь такого состава может длительно эксплуатироваться при температуре порядка 1000 °С. Поверхности горелок, подлежащие восстановлению до исходных размеров, представляют собой кольца с наружным и внутренним диаметром 46 и 20 мм соответственно. На кольцевой поверхности имеются шесть отверстий диаметром 4 мм для выхода газа. Изношенные поверхности горелок имеют сравнительно небольшие размеры и довольно сложную форму, поэтому восстанавливать их наиболее целесообразно способом напыления.

В настоящее время различают следующие разновидности напыления: газопламенное, дуговую металлизацию, плазменное, электроимпульсное, детонационное. Из перечисленных способов напыления для упрочнения горелок выбрано газопламенное напыление. При газопламенном напылении напыляемый материал может использоваться в виде проволоки, прутка или порошка. Последние существенно расширяют перечень напыляемых материалов. Появляется возможность напылять высокопрочные материалы, изготавливать которые в виде проволоки или прутка затруднительно.

Наиболее оптимальным материалом для восстановления и упрочнения горелок газовой турбины является микропорошковый жаростойкий сплав на основе никеля Eutalloy 1206 компании Castolin&Eutectic. Его химический состав, % масс.: С 0,03; Si 0,5; В 1,4; Cr 9,9; Cu 1,0; Ni – основа.

Выбор порошкообразного материала проводился исходя из требований высокой жаростойкости и качественного сцепления покрытия с основой (хорошей адгезии). Этим требованиям отвечают самофлюсующиеся порошки, которые представляют собой сплавы на основе никеля или кобальта, содержащие не менее 1,5 % бора и кремния. Напыление самофлюсующимися порошками всегда сочетается с последующим оплавлением. Бор и кремний

способствуют образованию низкотемпературной эвтектики, обеспечивающей понижение температуры плавления сплава покрытия. В результате после охлаждения расплавленное покрытие получается плотным и беспористым. Кроме того, такая обработка обеспечивает сплавление покрытия с основой (и в результате – хорошую адгезию) вследствие того, что тонкий слой основного металла во время оплавления также переходит в расплавленное состояние. Оплавление чаще всего осуществляется пламенем той же газопламенной горелки, которой производилось напыление.

Расчеты показали, что восстановление поврежденных торцов горелок указанным выше способом напыления экономически выгоднее по сравнению с изготовлением новых горелок.

Технологический процесс восстановления горелок состоит из механической обработки поверхности, обезжиривания, газопламенного напыления, оплавления напыленной поверхности, замедленного охлаждения и снятия припусков. При подготовке к процессу восстановления поврежденная поверхность была снята до «чистого» металла. Отверстия на поверхности были закрыты графитовыми пробками для того, чтобы избежать стекания в них расплавленного металла. С этой же целью на корпуса горелок надевались графитовые кольца. Непосредственно перед началом процесса напыления поверхности обезжиривались.

Газопламенное напыление с оплавлением сплавом Eutalloy 1206 проведено слабовосстановительным кислородно-ацетиленовым пламенем. Угол напыления был близок к 90 град. Расстояние от среза сопла газопламенной горелки до поверхности основного металла находилось в пределах 100 – 120 мм. Предварительный подогрев основного металла проводился до температуры 100 – 110 °С той же газопламенной горелкой. Толщина напыляемого за один проход покрытия составляла 0,5 мм, после чего сразу же следовало оплавление. Далее процесс повторялся. После завершения процесса восстановления следовало замедленное охлаждение. На завершающей стадии технологического процесса выполнялась также механическая обработка в виде снятия припуска.

В ходе промышленных испытаний установлено, что нанесенный сплав имеет высокую стойкость к действию высокотемпературного окислительного газового потока, что позволило значительно повысить стойкость восстановленных горелок газовой турбины.

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ КОМПЛЕКТАЦИИ ИХ В БАТАРЕИ**

ПУГАЧЕВ Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Предлагаемое устройство [1] предназначено для определения электрических параметров аккумуляторных источников питания (АИП), при их диагностировании производимого для оценки технического состояния аккумуляторов, по результатам которого можно принимать решения об их восстановлении или отбраковке. Работоспособность аккумуляторной батареи (АБ) определяется близостью электрических характеристик каждого из входящих в нее аккумуляторов.

Функциональные возможности существующих устройств для качественной оценки электрических характеристик не позволяют иметь достаточную информацию о динамических свойствах и определения необходимых характеристик. Кроме того, динамические характеристики отдельных аккумуляторов батареи всегда различны как по длительности протекания переходных процессов, так и по величине напряжения.

Известное устройство [2] для определения ёмкости аккумуляторной батареи в режиме импульсного разряда, не позволяет минимизировать погрешность измерений количественных показателей переходного процесса.

С целью получения данных об электрических параметрах аккумуляторов, комплектуемых в батарею, разработано диагностическое устройство, функциональная структура которого приведена на рисунке 1. Указанное устройство позволяет в автоматическом режиме определять важнейшие оценочные параметры аккумуляторов: коэффициент отдачи по ёмкости  $K_Q$ ; коэффициент отдачи АИП по энергии  $K_W$ ; динамический коэффициент полезного действия  $K_A$ . Названные параметры используются для объективной оценки технического состояния аккумуляторов. Поставленная задача достигается тем, что необходимые оценочные параметры определяются при повышенной точности измерения характеристик переходных процессов АИП [1].

Устройство (рисунок 1) содержит аккумуляторный источник питания (АИП), нагрузочный резистор  $R_H$ , электронный ключ (ЭК), регулируемый источник опорного напряжения (РИОН), дифференциальный измерительный усилитель (ДИУ), микроЭВМ. Электронный ключ входом подключен к общей точке соединений положительного вывода АИП и первого входа ДИУ, выходом через нагрузочный резистор подключен к общей точке, управляю-

щим входом связан с микроЭВМ. РИОН входом и выходом связан с микроЭВМ, вторым выходом с входом ДИУ, а общий вывод подключен к общей точке АИП и нагрузочного резистора. Выход ДИУ подключен к входу микроЭВМ, дополнительно между выходом ДИУ и микроЭВМ включены последовательно соединенные коммутатор напряжения (К), устройство временного хранения (УВХ) аналогового сигнала и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с меньшим временем выборки сигнала переходного процесса и увеличенной разрядностью.

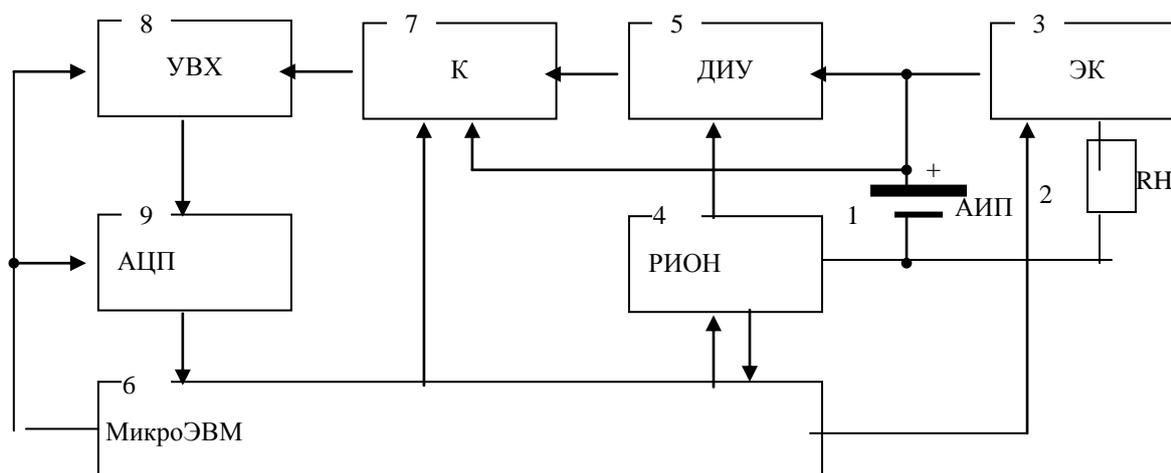


Рисунок 1 – Функциональная структура диагностического устройства для определения электрических параметров аккумуляторов для комплектации их в батареи

Функционирование системы начинается с момента включения в сеть и завершения инициализации микроЭВМ, запуска программного обеспечения, согласно которому микроЭВМ подает команду коммутатору напряжения для подключения положительного выхода аккумулятора на вход УВХ. Устройство работает последовательно в два этапа.

На первом этапе с целью повышения точности измерения параметров переходного процесса, осуществляется самонастройка устройства на индивидуальные электрические характеристики аккумулятора путём автоматической компенсации его ЭДС, что сопровождается выполнением следующих операций:

- измеряется напряжение на положительном выводе аккумулятора. Это происходит следующим образом. МикроЭВМ по сигнальному проводу подаёт команду на управляющий вход коммутатора напряжения для подключения напряжения аккумулятора к входу АЦП через УВХ аналогового сигнала. От микроЭВМ поступает команда на УВХ, необходимая для запоминания напряжения аккумулятора на время работы АЦП. Этот же сигнал поступает на запуск АЦП. По окончании преобразования АЦП на его выходе устанавливается цифровой эквивалент напряжения аккумулятора;

- полученный цифровой эквивалент поступает в микроЭВМ и через её

выход передается на вход РИОН. Вследствие преобразования цифрового кода в РИОН, на выходе из АИП устанавливается напряжение равное напряжению аккумулятора;

– полученное равенство проверяется измерением на выходе ДИУ разности напряжений, подаваемых на его входы от аккумулятора и от РИОН. При равенстве этих напряжений на выходе ДИУ устанавливается ноль напряжения. Командой от микроЭВМ коммутатор напряжения подключает выход ДИУ ко входу УВХ и АЦП для его преобразования, что подтверждается нулевым значением цифрового кода. Неравенство напряжений аккумулятора и выхода РИОН определяется наличием напряжения на выходе ДИУ, что устраняется корректировкой цифрового кода, подаваемого от микроЭВМ на вход РИОН. На этом первый этап работы прекращается.

На втором этапе функционирования устройства, от микроЭВМ поступает команда на подключение аккумулятора к нагрузочному прецизионному резистору  $R_H$ , через электронный ключ на время, необходимое для измерения переходного процесса.

В результате протекания тока в аккумуляторе начинает проходить переходный процесс, который определяется снижением напряжения на его выходах, в то время как напряжение на выходе РИОН остается неизменным. Это означает, что в ДИУ формируется сигнал переходного процесса, пропорциональный снижению напряжения на аккумуляторе, который с помощью АЦП преобразуется дискретно в цифровой код (аналогично работе первого этапа) и сохраняется в виде базы данных в памяти микроЭВМ.

На втором этапе функционирования устройства, от микроЭВМ поступает команда на подключение аккумулятора к нагрузочному прецизионному резистору  $R_H$ , через электронный ключ на время, необходимое для измерения переходного процесса.

Разработанное устройство и методика определения электрических и энергетических параметров апробирована в лабораторных и в производственных условиях на герметичных аккумуляторах различного технического состояния типа НКГК-11Д. Результаты апробирования подтвердили корректность предлагаемой методики, и хорошую работоспособность разработанного устройства диагностики аккумуляторов, которые рекомендуются к использованию в автоматизированной системе экспресс-диагностики технического состояния аккумуляторов на различных этапах их жизненного цикла.

На основе проведенных испытаний и исследований разработан алгоритм определения разрядной ёмкости и комплектации аккумуляторов в батарее, показанный на рисунке 2.

Разработанные способ и устройство для определения электрических параметров АИП [4] позволяют рассчитывать их фактическую разрядную ёмкость с точностью до  $\pm 0,25$  А·ч, которая удовлетворяет техническим требованиям комплектации аккумуляторных батарей с близкими электрическими характеристиками. При этом существенно увеличивается надежность и

практически удваивается срок службы аккумуляторных батарей в электрических системах с автономными источниками питания.

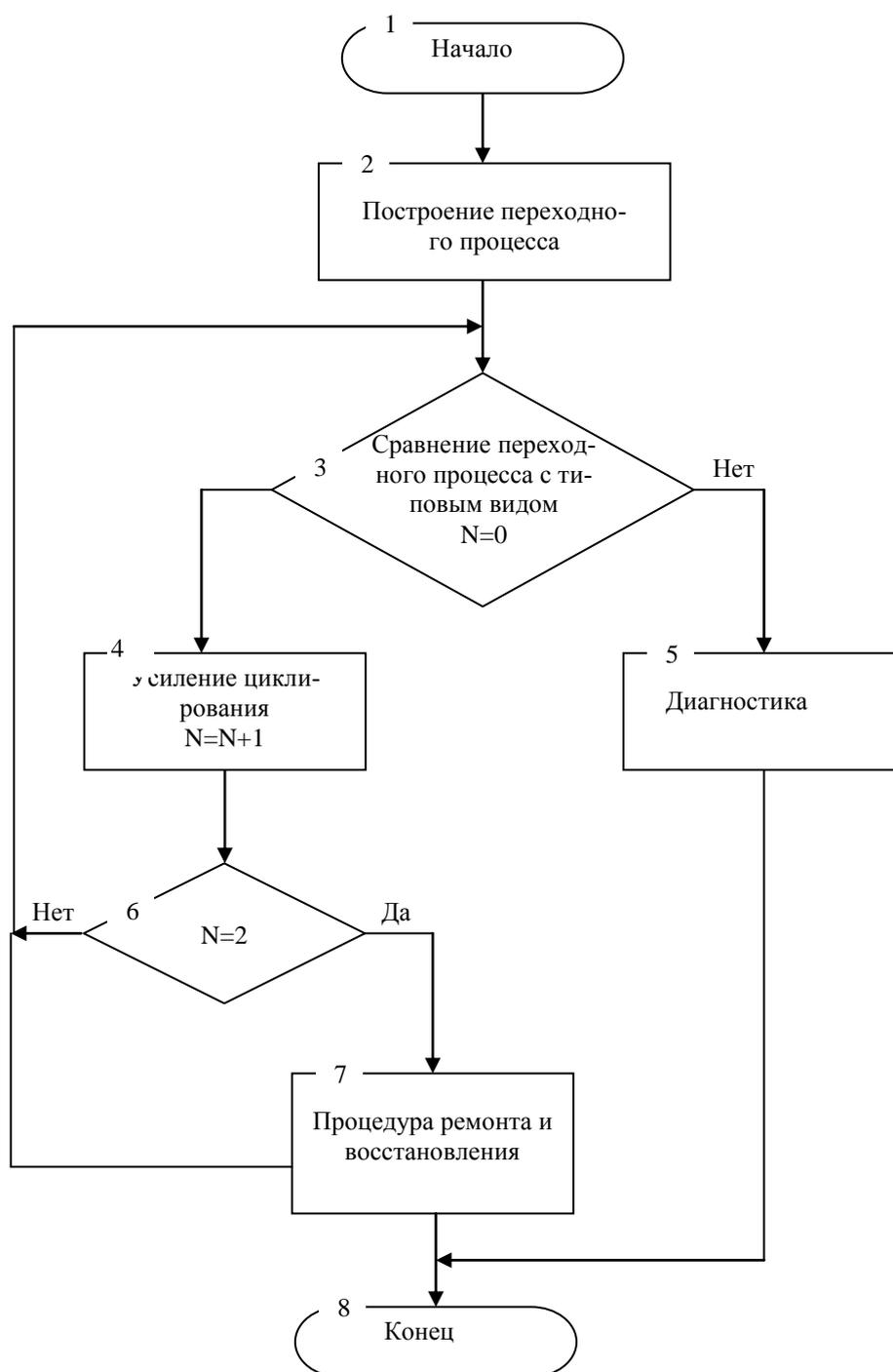


Рисунок 2 – Алгоритм определения разрядной ёмкости и комплектации аккумуляторов в батареи

#### Библиографический список

1. Патент 2246155 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> НО1М 10/48. Способ определения электрических параметров аккумуляторов для комплектации их в батареи и устройство для его осуществления / Пугачев Е.В., Тимофеев А.С. и др.; Заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Сибирский государ-

ственный индустриальный университет». – 2002 116319; заявл. 17.06.2002; опубл. 10.02.2005, Бюл. № 4. – 9 с.: ил.

2. Патент 2101806 Российская федерация, Б Н01 М 10/48 G01R31|36. Способ определения электрических параметров аккумуляторных источников питания /Пугачев Е.В., Вавиловский В.И. и др.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». – 96101978; заявл. 01.02. 1996; опубл. 10.01.1998, Бюл. № 1. – 4 с.

УДК 621.31:622.002.5

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

ИВАНОВ А.С., ПУГАЧЕВ Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Стремление нашего государства к равноправному и конкурентоспособному существованию в международном экономическом пространстве, вызванное процессами глобализации, привело к изменению социального заказа общества, а происходящие в мире интеграционные процессы с необходимостью требуют интенсификации производства.

Актуальность исследования обусловлена противоречием между социально-экономическими потребностями производства в производительных, надежных и экономичных шахтных подъемных установках (ШПУ) с одной стороны и неспособностью установленных на действующих угольных шахтах ШПУ, снабженных приводом переменного тока с фазным ротором и реостатным управлением обеспечить такие показатели.

Как показывает практика, ШПУ становятся слабым звеном в технологическом процессе, особенно при клетьевом подъеме, а замена существующих электроприводов переменного тока на современные проблематична, т.к. требует больших капитальных затрат, которые практически не будут окупаемы. Основной путь улучшения технических показателей – модернизация существующего электропривода.

Насущной проблемой сегодняшнего дня стал поиск путей повышения ресурса и управляемости ШПУ с трехфазным электродвигателем переменного тока с фазным ротором, т.к. 90 % всех ШПУ России оснащены такого рода электроприводом.

Асинхронные двигатели имеют жесткую механическую характеристику, поэтому максимальная скорость движения сосудов при питании от сети на естественной характеристике практически не зависит от их загрузки и направления движения.

При подъеме сосуда двигатель может работать только в двигательном режиме, скорость равномерного движения при этом регулируется введением

реостата в цепь ротора подъемного двигателя и может быть установлена ниже максимальной скорости равномерного движения, соответствующей номинальной скорости вращения двигателя.

При спуске сосуда возможны два режима подъемного двигателя: режим динамического торможения и генераторный режим.

Режим динамического торможения позволяет регулировать скорость движения сосудов в широких пределах изменением сопротивления реостата, использование этого режима предусмотрено для создания тормозного момента при замедлении сосуда при спуске.

Режим генераторного торможения возможен только при скорости вращения двигателя выше синхронной, т.е. выше расчетной максимальной, но при правильном управлении подъемной машиной это превышение невелико – порядка нескольких процентов. Необходимо при выходе на скорость равномерного движения полностью выводить реостат с тем, чтобы двигатель работал на естественной характеристике. Этот режим может быть использован только на участке равномерного движения сосуда в стволе.

Весь процесс проходит под постоянным контролем и управлением, которые осуществляются машинистом подъемной машины и рукоятчиком путем наблюдения за приборами и сигналами пультов и воздействия на управляющие органы – контроллеры, кнопки и выключатели.

Анализ работы ШПУ обнаруживает зачастую низкий уровень показателей эксплуатации.

Основной причиной этих обстоятельств, помимо организационных и технологических является зависимость показателей работы от квалификации и индивидуального состояния машиниста.

Эмоциональное напряжение и усталость вынуждают машиниста снижать рабочие скорости, приводят к росту опасности ошибочных действий, дополнительным динамически воздействиям на рабочее оборудование.

Разрешить противоречие между возможностями машиниста, управляющего ШПУ вручную и ограниченными возможностями ШПУ, возможно только средствами автоматического и автоматизированного управления.

Бурное развитие вычислительной техники и в последние десятилетия позволило создать высокопроизводительные промышленные контроллеры на базе микропроцессорной техники. Реализация системы логического управления ШПУ с их применением открывает новые перспективы развития шахтного производства.

Цифровые системы логического управления позволяют реализовывать различные алгоритмы управления программными средствами без изменения аппаратной основы, изменять структуру и параметры системы в реальном масштабе времени, обеспечивают более высокую точность регулирования и несут меньшие эксплуатационные издержки по сравнению с аналоговыми системами.

Преобладание аналоговых систем управления на многих шахтах, делает актуальной проблему их модернизации путем внедрения микропроцес-

сорных систем управления.

Снижение стоимости силовой элементной базы позволяет применять силовые тиристоры и интеллектуальные силовые IGBT модули при разработке систем автоматизированного и автоматического управления ШПУ.

Наличие обширной микропроцессорной и силовой элементных баз, требует комплексного подхода при разработке системы управления ШПУ, поэтому предварительное моделирование будущей системы управления ШПУ обеспечит поиски более рациональных и экономически выгодных путей решения поставленных задач

Таким образом, модернизация ШПУ на действующих угольных шахтах позволит увеличить производительность и ресурс ШПУ, за счет внедрения современных средств автоматизированного и автоматического управления, и устранения прямой зависимости работы ШПУ от индивидуального состояния машиниста.

#### Библиографический список

1. Ваулин Г.А., Мещерин А.Т., Пугачев Е.В. Средства повышения эффективности и надежности шахтных подъемных машин с электроприводом, оснащенным асинхронным электродвигателем с фазным ротором // Электрика. – 2007. – № 6.
2. Гальперин И.Я., Бежок В.Р. Модернизация электропривода и автоматизация шахтных подъемных установок. М.: Недра, 1984. – 243 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

УДК 621.3

### **УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ БОЛГАРСКОЙ КОМПАНИИ ООД «МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ»**

Фильков С.И., Петков В.П., Лёвин А.Е., Черёмушкина Е.М.

*Новокузнецкий филиал Томского политехнического университета  
г. Новокузнецк*

Первым шагом к рациональному использованию энергоресурсов является повсеместный учет их расходования, так как сегодня в условиях динамично развивающегося мира все единодушны: без налаженного учета энергоресурсов на предприятии любого масштаба успешный бизнес невозможен. Важнейшим из состава энергоресурсов является электроэнергия, так как она занимает особое место, благодаря удобству применения, универсальности и практичности в ряду энергоресурсов, используемых человечеством.

В настоящее время предприятия Российской Федерации производят широкую гамму оборудования для организации автоматизированных систем

коммерческого учета электроэнергии, а также выпускают электросчетчики, предназначенные к использованию в системах АСКУЭ.

Одновременно на российском рынке представлены разработки известных зарубежных фирм: АББ, Elster Метроника, ISKRAEMECO (Словения) и др. Одной из фирм, которые вышли на российский рынок приборов и систем учета электроэнергии, стала малоизвестная в широких кругах болгарская компания ООД «Мультипроцессорные системы» (MPS).

ООД «Мультипроцессорные системы» – частная фирма, основанная в 1990 году, основной сферой деятельности которой является разработка технических средств и программного обеспечения, а также производство технических средств и систем управления.

В области программного обеспечения MPS специализируется на разработке программного обеспечения и услуг по поддержанию программного обеспечения для европейского рынка (в 2007 году MPS получила пятый год подряд Золотую медаль как поставщик фирмы Siemens AG L&A Postal Automation (Сименс ЭйДжи Эл-Энд-Эй Поустэл Аутомэйшн)). Сертифицирована по стандартам: Maturity Level 2 of the CMMISM Model; IT Mark® Premium grade; ISO 9001:2000.\* (1. Уровень зрелости 2 по модели Си-Эм-Эм-Ай-Эс-Эм (CMMISM) 2. Высшая оценка Ай-Ти Марк (IT Mark) 3. ИСО 9001:2000).

В 2006 году специалистами компании «Арго-Сибирь» филиала компании «Арго-Центр» г. Иваново для использования в Центральных электрических сетях ОАО «Кузбассэнерго-РСК» в п. Инской на конкурс, организованный электросетевой компанией, была предложена система учета ООД «Мультипроцессорные системы» и после жесткого отбора выбрана за основу.

---

\* Capability Maturity Model Integration (СММІ) – методология совершенствования процессов в организациях. СММІ содержит критерии оценки качества процессов, методики их улучшения, а также предоставляет фрагменты эффективных процессов.

СММІ состоит из трёх основных компонентов: СММІ Development, СММІ Services и СММІ Acquisition. Наиболее известный, СММІ Development, ориентируется на организации, занимающиеся разработкой продуктов. Последняя версия 1.2 спецификации СММІ Development, была опубликована 25 августа 2006 года.

Существуют два представления СММІ: непрерывное (continuous) и ступенчатое (staged). При внедрении СММІ на непрерывной основе порядок улучшения процессных областей не фиксирован. Качество процессов в каждой процессной области может быть оценено на один из шести (0-5) уровней производительности (capability level). Ступенчатое представление определяет пять (1-5) уровней зрелости (maturity level) организации. Для достижения каждого уровня зрелости (кроме первого) необходимо выполнить требования по внедрению определённых процессных областей и достижению соответствующих целей.

СММІ определяет 22 процессные области (process areas). Для каждой из процессных областей существует ряд целей (goals), которые должны быть достигнуты при внедрении СММІ в данной процессной области. Некоторые цели являются уникальными – они называются специальными (specific). Общие (generic) цели применяются к нескольким процессным областям. Цели достигаются при помощи выполнения практик; так же, как цели, практики делятся на специальные и общие.

Основным достоинством указанной системы является возможность обнаружения несанкционированного подключения (или хищений электроэнергии) потребителей к электрическим сетям и высокое качество комплектующих элементов.

Система учета электроэнергии (далее система учета) организована на базе «Комплекса измерительно-вычислительного для учета электроэнергии», построенного на программном обеспечении, разработанном фирмой MPS совместно с ФГУП ЦЭУ (Федеральное государственное унитарное предприятие «Центр эксплуатационных услуг Мингосимущества России») с использованием счетчиков электрической энергии серии EMPS.

Система учета позволяет, как принимать данные удаленных приборов учета, так и осуществлять обмен информацией между объектами по различным каналам связи.

Система учета имеет различные варианты реализации (с использованием операционных систем Windows XP, OS2 (OS/2 – операционная система фирмы IBM), СУБД Oracle (Oracle Database или Oracle DBMS – объектно-реляционная система управления базами данных (СУБД)). MsSQL-server\*), что позволяет потребителю выбрать наиболее подходящий вариант с точки зрения технических требований и финансовых возможностей.

Модификация системы учета ООД «Мультипроцессорные системы» с успехом была внедрена в г. Дубна (Институт ядерных исследований). Система учета может использоваться на объектах разных видов потребителей.

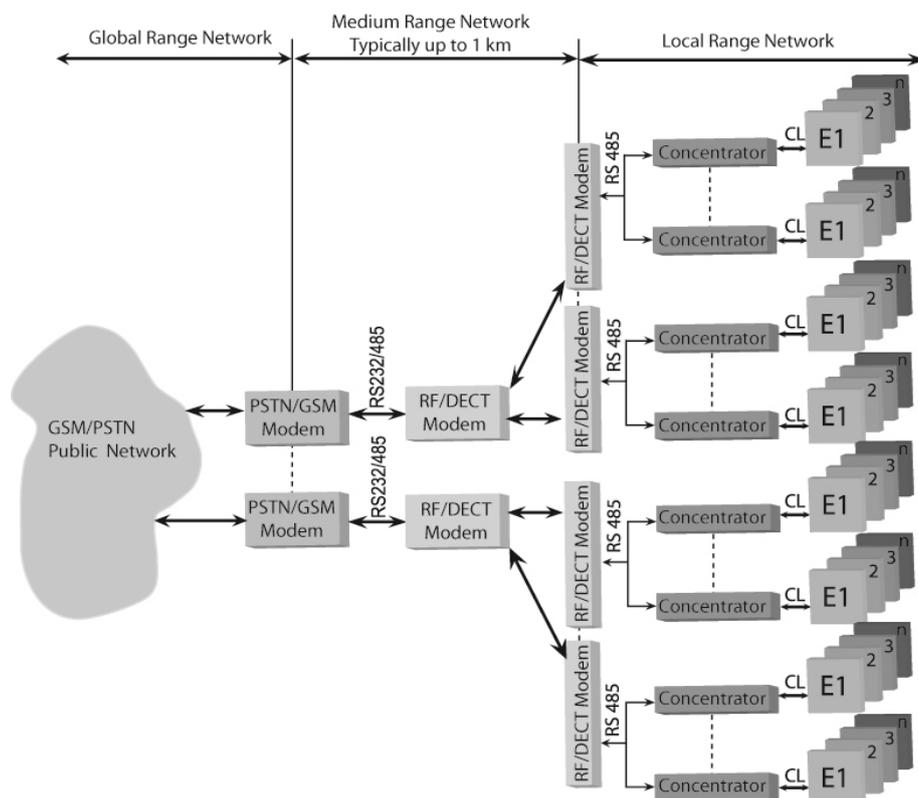
Общая схема передачи данных представлена на рисунках 1 и 2.

Для энергоснабжающих предприятий система учета обеспечивает:

- возможность выхода на оптовый рынок электроэнергии (ОРЭ);
- повышение точности учета (за счет уменьшения ошибок при ручном съеме данных, за счет ревизии приборов учета и замене старых типов счетчиков на более современные и точные);
- снижение потерь электроэнергии за счет контроля балансов по объектам, снижение потерь и хищений электроэнергии;
- контроль заявленной мощности предприятий (потребителей) и выставление счетов за фактически потребленную мощность;
- выравнивание нагрузки за счет перехода потребителей на зонный тариф и перевода части мощности в ночной период;
- сокращение затрат на обработку информации экономическими подразделениями за счет получения оперативной и достоверной информации об энергопотреблении в электронном виде.

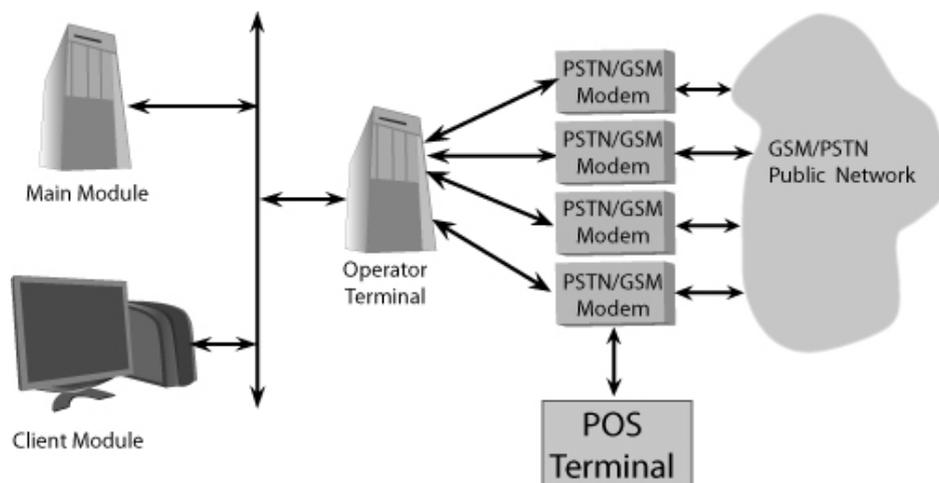
---

\* Microsoft SQL Server (MS SQL Server) система управления реляционными базами данных (СУБД), разработанная корпорацией Microsoft. Основной используемый язык запросов – Transact-SQL, создан совместно Microsoft и Sybase. Transact-SQL является реализацией стандарта ANSI/ISO по структурированному языку запросов (SQL) с расширениями. Используется для небольших и средних по размеру баз данных, и в последние 5 лет – для крупных баз данных масштаба предприятия, конкурирует с другими СУБД в этом сегменте рынка.



E1...En – приборы учета; CL – токовая петля; Concentrator – концентратор; RS 485 – интерфейс; RF/DECT Modem – радио/DECT модем; RS232/485 – конвертор; PSTN/GSM Modem – сети ТСОП и GSM; GSM/PSTN Public Network – сеть общего пользования для GSM и ТСОП; Local Range Network – локальная сеть; Medium Range Network Typically up to 1 km – средне-размерная сеть радиусом до 1 км; Global Range Network – глобальная сеть

Рисунок 1 – Общая схема передачи данных на нижнем уровне:



POS Terminal – терминал приема платежей клиентов; Operator Terminal – АРМ диспетчера; Client Module – АРМ пользователя; Main Module – сервер

Рисунок 2 – Общая схема передачи данных на верхнем уровне

Для промышленных потребителей (предприятия) система учета обеспечивает:

- возможность выхода на оптовый рынок электроэнергии (ОРЭ);
- снижение затрат на электроэнергию за счет перехода на зонные тарифы;
- контроль фактически потребленной мощности и снижение заявленной (договорной) мощности;
- контроль энергопотребления субабонентов;
- контроль энергопотребления отдельных цехов (структурных подразделений) с возможностью расчета доли затрат на энергию в себестоимости продукции;
- сокращение затрат на обработку информации экономическими подразделениями предприятия за счет получения оперативной и достоверной информации об энергопотреблении в электронном виде;
- повышение точности учета (за счет уменьшения ошибок при ручном съеме данных, за счет ревизии приборов учета и замены старых типов счетчиков на более современные и точные).

Для бытовых потребителей система учета обеспечивает:

- организацию достоверного учета и оперативного контроля за потреблением электроэнергии по каждой квартире и по жилому дому в целом;
- исключение хищений электроэнергии за счет оперативного контроля баланса потребления жилого дома;
- переход на многотарифную систему оплаты за потребленную электроэнергию;
- отказ от системы выписки счетов за потребленную электроэнергию самими жильцами и переход на выписку счетов энергоснабжающей организацией;
- возможность автоматизации процесса выписки счетов жильцам за фактически потребленную электроэнергию;
- сокращение затрат на персонал, контролирующий показания квартирных счетчиков;
- снижение потерь электроэнергии за счет контроля и анализа потребления дома в целом и уменьшения нерационального расхода энергии в нежилых помещениях дома (на лестничных площадках, при освещении входов в подъезды, в подвалах и т.п.).

Разные объекты и приложения системы учета требуют технически выверенных топологических решений. Каждое конкретное решение со своей стороны требует подходящий метод коммуникации и максимально быстрый, не дорогой и в тоже время надежный способ передачи данных. Например, коммуникация на основе GSM канала данных внутри конкретного предприятия не всегда является самым оптимальным выбором. Коммуникационные цепи системы учета могут быть созданы по трем основным способам: по проводам, беспроводные и смешанные.

Система учета ООД «Мультипроцессорные системы» соответствует

всем требованиям и методикам по организации расчетов с потребителями электрической и тепловой энергии, а также обеспечивает соответствие всем рекомендациям и указаниям розничного и оптового рынка России по организации энергосбытовой деятельности и может быть применена для разных предприятий и любых видов энергоресурсов.

#### Библиографический список

1. Фильков С.И. Техническое обеспечение деятельности энергоснабжающих организаций, создаваемых потребителями // *Электрика*. – 2004. – № 12. – С. 3 – 14.
2. Фильков С.И., Лёвин А.Е. Опыт компании «Металлэнергофинанс» по электроснабжению жилищно-коммунального хозяйства // *Электрика*. – 2006. – № 3. – С. 3 – 6.
3. Фильков С.И., Петков В.П., Лёвин А.Е., Черёмушкина Е.М. Система учета электроэнергии болгарской компании ООД «Мультипроцессорные системы» / Доклады Всеросс. научно-технич. конф. «Приоритетные направления развития науки и технологий». Тула, 2008. – С. 136 – 139.
4. Фильков С.И., Лёвин А.Е., Черёмушкина Е.М., Петков В.П. Информационно-коммуникационные технологии системы учета электроэнергии болгарской компании ООД «Мультипроцессорные системы» / Доклады Междунар. научно-практ. симпозиума «Современные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты». Тула, 2008. – С. 3 – 8.

УДК 623

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

КУЗНЕЦОВА Е.С., СВИРСКАЯ Г.С. КИПЕРВАССЕР М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Управление организациями в условиях рыночной экономики значительно сложнее, чем в централизованной командно-административной системе. Это связано как с расширением их прав и ответственности, так и с необходимостью более гибкой адаптации к изменениям в окружающей среде. Возникают новые цели, задачи которые невозможно решить без современного профессионального менеджмента.

В условиях рыночной экономики и значительного повышения цен на энергоресурсы особую роль играет аспект эффективного использования энергии в различных отраслях промышленности. Это задачи учета и анализа расхода энергии, установления оптимальных энергетических режимов оборудования, нормирования и планирования энергопотребления, замена устаревшего электрооборудования, обучение и контроль персонала. Если задачи

учета и анализа относятся к информационным, то все остальные к задачам управления.

Структурная реорганизация энергетической отрасли поставила перед энергетиками России ряд новых специфических задач, а именно: создание правовой базы для эффективного управления электроэнергетикой; совершенствование финансовой и инвестиционной политики в новых экономических условиях; организацию управления в условиях новых форм собственности, системы договоров и контрактов между производителем и потребителем; методическое, правовое и организационное обеспечение оптового рынка мощности и энергии России; развертывание политики энергосбережения и экологии и т.д.

Любое крупное промышленное предприятие имеет в своем составе отдел главного энергетика, который имеет в свое составе несколько бюро, выполняющие функции учета, нормирования, планирования, надзора, контроля, энергосбережения и т.п. Количество отделов для каждого предприятия

На рисунке 1 приведена структурная схема энергетического менеджмента промышленного предприятия.



Рисунок 1 – Структурная схема энергетического менеджмента на промышленном предприятии

Энергетический менеджмент включает в себя следующие разделы:

Трудовые ресурсы и управление персоналом. В нём рассматривается роль персонала в организации, профессиональный рост и эффективные спо-

собы управления трудовыми ресурсами. Постоянное повышение квалификации и контроль за знаниями правил техники безопасности (ПТБ), правил устройства электроустановок (ПУЭ) и т.д.

Взаимоотношение с энергоснабжающими организациями – составление, анализ и подписание договора на электроснабжение, определение балансовой принадлежности и составление актов раздела границ по электроснабжению. В современных условиях на первый план выходит вопрос выбора поставщиков энергоресурсов. В условиях рынка возможен выбор, который следует проводить максимально эффективно.

Диспетчерское управление за энергопотреблением – постоянный мониторинг и контроль за электрической нагрузкой, регулирование нагрузки в часы утреннего и вечернего максимума. В соответствии с текущей нормативной базой каждый потребитель обязан до начала текущего расчётного периода подать в энергоснабжающую организацию прогноз почасового потребления на весь период (месяц, квартал, год). Отклонение от прогнозируемых величин ведёт к значительным штрафам и потерям. В этой связи диспетчерское управление энергопотреблением, постоянный мониторинг и контроль электрической нагрузки, регулирование нагрузки в часы становятся одними из важнейших функций энергоменеджмента предприятия.

Учёт, нормирование и планирование энергетических ресурсов – рассматривает снятие показаний по счётчикам электроэнергии для передачи данных в энергоснабжающую организацию. Анализ и разработка удельных норм электропотребления по основным видам продукции. Планирования объёмов электроэнергии в зависимости от планового объёма выпускаемой продукции.

Энергосбережение и энергоаудит – предусматривает составление энергетического паспорта предприятия, выявление резервов по экономии энергоресурсов и анализ потерь электроэнергии во всех звеньях системы электроснабжения. Разработка рекомендаций по снижению удельных норм электропотребления.

Организация ремонта оборудования – техническая часть, предусматривающая разработку ППР, замену морально и физически устаревшего оборудования на новое, с целью повышения эффективности и надёжности электроснабжения. Согласно существующим оценкам, до половины капитальных вложений в модернизацию и замену оборудования окупается за счёт экономии на текущих затратах и снижении потерь электроэнергии.

Энергетический менеджмент промышленного предприятия – сложная система, которая предъявляет высокие требования к профессионализму управленческого персонала. Современный управленец – это человек, владеющий не только теоретическими и практическими знаниями технологического процесса производства, передачи и распределения электроэнергии, но также знаниями и умениями в области стратегии управления, инновации, маркетинга, управления персоналом и производством.

## **ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ «ЮБИЛЕЙНАЯ»**

ГРОМОВА О.В, БАБУРСКАЯ Е.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Подробное и детальное рассмотрение факторов, влияющих на электропотребление, позволяет выявить причины роста или снижения затрат электроэнергии на предприятиях, а это способствует тем или иным образом влиять на эти причины и, следовательно, управлять электропотреблением [1].

Повышение электропотребления предприятиями угольной промышленности сегодня происходит из-за их технического перевооружения предприятий отрасли. На смену малопроизводительной и устаревшей добычной техники и электрооборудования приходит более мощное, надежное, высокопроизводительное и, как правило, более энергоемкое оборудование. Техническое перевооружение подземной добычи угля связаны, прежде всего, с увеличением удельного (приходящегося на 1 т добычи) электропотребления.

С увеличением добычи шахт значительно возрастают горное давление, газоносность угольных пластов и вмещающих пород, опасность внезапных выбросов угля, газа и породы, горных ударов. Кроме того повышается температура пород, увеличивается их склонность к пылеобразованию, усложняются поддержание горных выработок и управление кровлей в очистных забоях. Все это приводит к повышению опасности ведения горных работ.

Например, прирост глубины ведения горных работ в среднем происходит на 2,3 – 4,5 % в год, газообильность увеличивается в среднем на 1,1 – 6,5 %, что приводит к росту количества подаваемого в шахты воздуха на 1,2 – 7,8 %, а прирост водообильности колеблется в пределах 3,4 – 4,6 % в год.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости разработки и реализации превентивных мер, которые могли бы в определенной мере скомпенсировать рост электропотребления из-за ухудшающихся горно-технических условий при подземной добыче угля.

Количественная оценка эффективности использования электроэнергии на шахтах основана на представлении потребляемой шахтой активной энергии в виде двух составляющих [2].

В первую составляющую входит энергия, не зависящая от количества добытого угля. Эту энергию потребляют вентиляторные, водоотливные и другие стационарные установки, непосредственно не связанные с процессами выемки и доставки угля. На долю таких установок в настоящее время приходится до 80 % общего потребления электроэнергии по шахте.

Во вторую составляющую входит энергия, зависящая от количества добытого шахтой угля и потребляемая забойными и транспортными машинами, скиповыми подъемными установками и др.

Так, тенденция в изменении расхода электроэнергии на шахтную вентиляцию определяется двумя факторами: расходом воздуха в шахтах в связи с увеличением глубины горных работ и газообильностью шахт; совершенствованием вентиляторов и методов проектирования шахтной вентиляции. Первый фактор ведет к увеличению потребления электроэнергии шахтными вентиляционными системами, второй – к уменьшению за счет большего КПД современных вентиляторов и выбора при проектировании более рациональных режимов работы вентиляционных установок.

Для главной вентиляторной установки на угольной шахте основными факторами, влияющими на электропотребление, являются характеристики самой вентиляционной сети шахты, аэродинамическое сопротивление выработок и каналов вентиляторов, состояние всех вентиляционных сооружений, включая и поверхностные, а также режимы работы вентиляторов.

Применение дегазации с точки зрения затрат электроэнергии более эффективно, чем проветривание шахт. Оценка экономии электроэнергии с учетом затрат на дегазацию и шахтной вентиляционной сети, показывает, что эта величина может составлять 4 – 5 % от затрат энергии на вентиляцию.

Грузопотоки угольных шахт характеризуются неравномерностью, что отражается на потонной нагрузке ленты конвейера и, в конечном счете на нагрузке конвейера, изменяющейся от номинального значения (работа с номинальной производительностью) и до минимального (работа с производительностью, равной нулю, то есть вхолостую).

Большое влияние на электропотребление ленточными конвейерами оказывает поддержание максимального коэффициента трения между лентой и приводными барабанами. В случае если максимальную производительность конвейера можно обеспечить лентой меньшей ширины, то следует произвести соответствующую замену ленты, тем самым исключить нерациональный расход электроэнергии.

В качестве подземного транспорта сегодня также используются электровозы. Уменьшить удельный расход электроэнергии на откатку можно путем снижения сопротивления движению, увеличения КПД электровоза, уменьшения необходимой силы тяги, улучшения состояния контактной и рельсовой сетей.

При работе насосов с завышенным напором часть напора гасится в трубопроводе и бесполезно теряется при сбрасывании воды на поверхность. В этом случае необходимо снять часть промежуточных секций (если насосы секционные) или рассмотреть возможность установки насосов с меньшим напором. Также можно уменьшить потери напора в трубопроводе – увеличив сечения труб по всей длине или на отдельных участках заменой старых труб на новые.

По мере эксплуатации трубопровода на его стенках откладывается

слой грязи, содержащейся в шахтной воде, с течением времени толщина осадка вырастает настолько, что нарушает нормальную работу водоотливной установки. При этом растет сопротивление нагнетательного трубопровода, снижается подача и как следствие увеличивается удельный расход электроэнергии.

Режим управления шахтных подъемных установок оказывает существенное влияние на величину электропотребления.

Наиболее выгодным по расходу электроэнергии считается режим управления, при котором степень неполноты тахограммы (диаграммы скорости) имеет наименьшее возможное значение, если при этом тормозные усилия не превосходят 20 – 30 % веса полезного груза.

Уменьшить степень неполноты тахограммы можно при больших значениях ускорения при пуске и замедления при остановке, переводе подъемной машины на полуавтоматическое и автоматическое управление.

Выемку угля в очистных забоях производят в основном механическим и гидравлическим способами.

Энергоемкость выемки комбайнами и стругами в общем случае зависит от условий разработки, которые характеризуются показателями разрушаемости пластов (сопротивляемостью резанию и средним значением показателя степени хрупкости), а также наличием присечки боковых пород при выемке.

При повышении энерговооруженности комбайнов снижение энергозатрат возможно путем увеличения толщины стружки, более полной загрузки машин добычного комплекса по мощности и производительности, что позволяет снизить потери холостого хода.

Правильные выбор и расстановка режущего инструмента позволяют не только увеличить производительность, улучшить сортность и снизить пылеобразование, но и уменьшить энергоемкость выемки без ухудшения динамической нагруженности исполнительных органов выемочных машин.

Кроме того, уменьшить электропотребление можно, увеличив приводную мощность и скорость подачи комбайна или скорость движения струга.

Проведение подготовительных выработок на шахтах выполняется проходческими комбайнами и буровзрывным способом с погрузкой горной массы погрузочными машинами и скреперами.

Величину удельных энергозатрат при работе проходческого комбайна определяют главным образом затратами энергии на разрушение резанием горного массива исполнительным органом комбайна, которые зависят от физико-механических свойств разрушаемых пород в забое и вида режущего инструмента. Наряду с этим энергозатраты формируются также при погрузке разрушенной горной массы и ее транспортировании, маневрах и передвижке комплекса проходческого оборудования и др.

Для буровзрывного способа проведения выработок удельные энергозатраты определяются также расходом электроэнергии на бурение шпуров, который зависит от крепости пород или угля, величины диаметра шпура и

степени затупления режущих граней буровой коронки.

Оснащение исполнительных органов проходческих комбайнов и бурильных установок регуляторами нагрузки позволяет вести разрушение пород в оптимальном режиме с минимальными энергозатратами.

Снижение электропотребления на проветривание подготовительных выработок достигается сокращением утечек воздуха в вентиляционных магистрях за счет применения герметичных вентиляционных труб большого диаметра.

Наглядное представление зависимости удельного электропотребления на угольном предприятии от добычи угля и абсолютного значения электропотребления рассмотрены на примере филиала «Шахта «Юбилейная» ОАО «ОУК Южкузбассуголь».

Рассмотрен период длительностью пять лет – начиная с 2004 года и заканчивая 2008 годом. За это время добыча угля достигала 300 тыс. т в месяц. Значение абсолютного электропотребления колебалось от 3,5 млн. кВт·ч до 5,4 млн. кВт·ч. Удельное электропотребление колеблется от 15 до 273 кВт·ч/т.

На графике удельного электропотребления (рисунок 1), построенного для пяти рассмотренных лет, видно, что значение удельного электропотребления изменяется незначительно, но вместе с тем имеются пиковые значения. В 2004 году таких пиков не наблюдается. Это связано с тем, что в этом году в отработке находилось две лавы, уровень добычи был более или менее постоянным, то есть в периоды ремонтажей одной лавы не было резкого падения добычи. Начиная с 2005 года на шахте функционировал только один очистной забой. В период декабрь 2005 года – январь 2006 осуществлялся ремонт лавы, и максимальное значение удельного электропотребления достигало 138 кВт·ч/т.

Скачок удельного электропотребления наблюдается в мае 2008 года. Май-июнь-июль период ремонтажа лавы.

Графики добычи и абсолютного электропотребления 2004 и 2007 годов, показаны соответственно на рисунках 2 и 3, из которых следует, что при значительных изменениях добычи абсолютное электропотребление колеблется незначительно.

Наиболее характерным является период июнь – октябрь 2007 года. Это период ликвидации аварии, произошедшей на шахте 24 мая 2007 года. В этот период шахта не добывала угля, тем не менее значение электропотребления сопоставимо со значениями в периоды отработки лав. Из этого можно сделать вывод, что большая часть электроэнергии, потребляемой шахтой, расходуется на работу стационарных установок и меньшая часть на процесс непосредственной добычи угля.

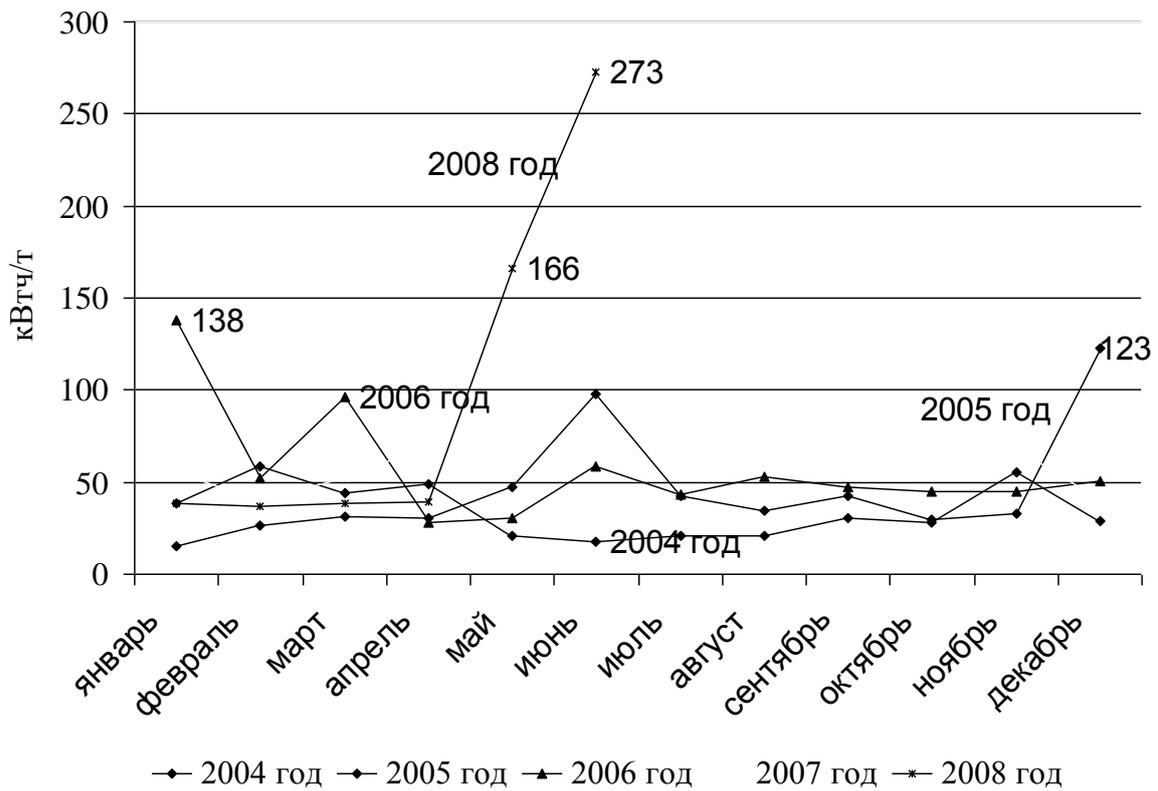


Рисунок 1 – Удельное электропотребление

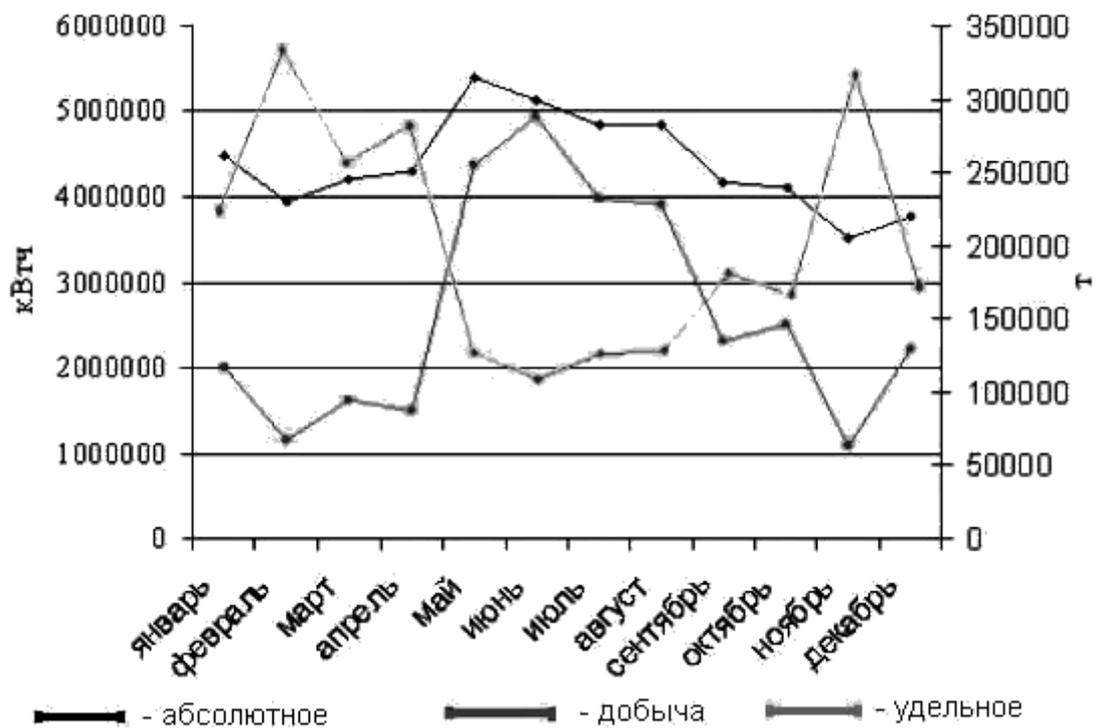


Рисунок 2 – Добыча, абсолютное и удельное электропотребление (2004 год)

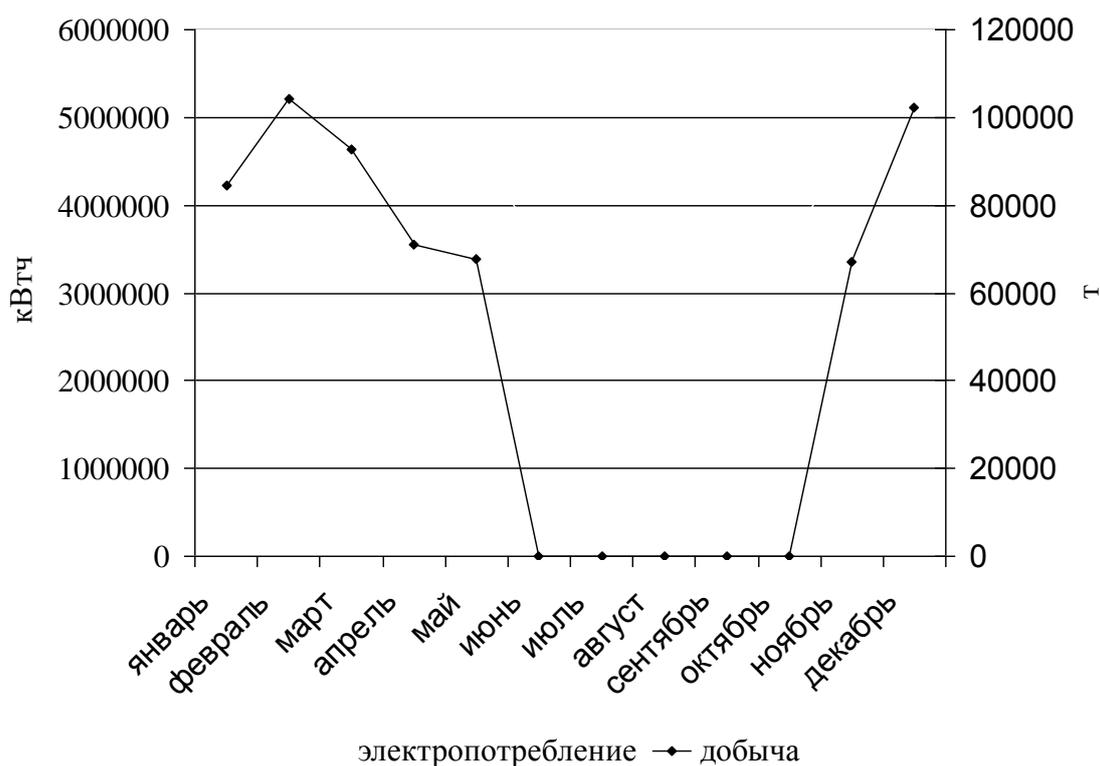


Рисунок 3 – Абсолютное электропотребление и добыча (2007 год)

При увеличении значения абсолютного электропотребления удельное электропотребление может как оставаться неизменным, так и значительно падать. Это говорит о том, что удельное электропотребление в большей степени зависит от добычи угольного предприятия.

На угольных предприятиях Кузбасса основным фактором, ограничивающим нагрузку на очистной забой, является газовый фактор. В результате этого становится невозможным максимально увеличивать добычу угля на предприятии. В этом случае большое внимание надо уделить сокращению электропотребления, что позволит снизить себестоимость угля.

Приведенные выше данные еще раз доказывают, что большую часть из общего электропотребления предприятия составляют стационарные установки. Следовательно, именно они являются основным резервом экономии электроэнергии.

#### Библиографический список

1. Эффективное использование электроэнергии и топлива в угольной промышленности / Н.И. Волощенко, Э.П. Островский, В.И. Мялковский. Под ред. Э.П. Островского, Ю.П. Миновского. – М.: Недра, 1990. – 407 с.: ил.
2. Жежеленко И.В. Методы вероятного моделирования и расчета характеристик электрических нагрузок потребителей / В.В. Жежеленко, В.П. Степанов, Е.А. Коротков. Самара: СамГТУ, 2001. – 196 с.

## **ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

ТИМОФЕЕВ А.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Нерациональное использование электроэнергии с постоянно удорожающими тарифами, в условиях рыночных отношений является весьма актуальной проблемой, которую необходимо безотлагательно и эффективно решать. Необходимо отметить, что в России на единицу выпускаемой продукции затраты электроэнергии в три раза выше чем в наиболее развитых европейских странах, а следовательно экономика России является неконкурентоспособной. В современных экономических отношениях эта проблема актуальна и для угольных шахтах, которые отличаются значительным энергопотреблением в технологических процессах выемки полезного ископаемого.

Применительно для угольных шахт, снижение энергозатрат на единицу продукции или энергопотребления на тонну угля можно достичь путем технического перевооружения и организационными мерами на всех этапах технологического процесса, что заключается в его более эффективном управлении с оптимальными режимами энергопотребления. Прежде всего, это обусловлено с контролем и учетом расхода активной и реактивной мощности на всех энергопотребителях технологического процесса.

Конкурентоспособность угольного предприятия это эффективное использование электроэнергии, которое включает и комплекс проблем связанных с вопросами энергосбережения связанного с анализом расходов электроэнергии, характеристик электрооборудования и оптимизации его работы.

К комплексу вопросов энергосбережения относятся проблемы качества самой электроэнергии, а также позиционирование причин его ухудшения и автоматизация восстановления. Так как качество электроэнергии является технико-экономической основой горного предприятия, ухудшение которого существенно снижает надежность работы электрооборудования с повышением его аварийности, что сопровождается проблемами безопасности.

Учитывая прогрессирующее внедрение силовой электроники, в том числе частотно-управляемого привода, управляемого тиристорного преобразователя и других нагрузок с нелинейной характеристикой и с несинусоидальными режимами работы нагрузки – являются важными причинами ухудшения качества электроэнергии, проявляющегося наличием высших гармонических составляющих и необходимостью в компенсации реактивной мощности.

Аспекты выше названных проблем являются многоплановыми, их теоретические и практические основы могут быть решены с использованием адекватного математического описания режимов работы энергопотребления, его краткосрочного и долгосрочного прогнозирования на всех уровнях электроснабжения и позиционирования участков снижения качества электроэнергии с последующими рекомендациями его восстановления. К задачам математического описания относится, создание многоуровневого алгоритма динамической идентификации объектов управления технологического процесса и анализа эффективности эксплуатации систем электроснабжения.

За последние годы удельный расход электроэнергии на единицу объема добычи угля, несмотря на внедрение более мощных и производительных горных машин, растет, и рост этот устойчив. Наиболее значимыми потребителями электроэнергии является электроприводы главных вентиляторных установок, скипового и клетьевого подъемов, водоотлива, подземного транспорта, что в отдельности в процентном отношении составляет от 8 до 35 % от мощности общешахтового объема. Эти электроприводы работают в режимах управления не обеспечивающих минимальных затрат электроэнергии, что сопровождается существенными потерями энергоресурсов, которые могут оцениваться от 5 до 12 % от общего объема потребляемой электроэнергии.

Поэтому для решения обозначенных проблем необходимо решение следующих актуальных задач:

- реализации динамического контроля качественных характеристик электроэнергии сети на входе ЦПП;
- определение регрессионных зависимостей между технологическими и электрическими характеристиками сети;
- обеспечить позиционирование источников и характера снижения качественных характеристик электрической сети;
- сформулировать рекомендации по повышению качественных характеристик электрической сети;
- разработать алгоритмы, обеспечивающие оптимальное управление системой электроснабжения.

Из современных технических средств для реализации названных алгоритмов наиболее адаптированным к реальным условиям является система диспетчерского управления и шахтной автоматики третьего поколения «Микон -3Р» производства НТП «ИНГОРТЕХ» г. Екатеринбург с высокоскоростной системой передачи данных. Эта система обеспечивает передачу разнообразной информации в автоматизированных системах оперативно-диспетчерского контроля и управления технологическим процессом угольных шахт и рудников в нормальных и аварийных условиях.

В качестве измерительных преобразователей для оценки первичных энергетических характеристик электрических сетей можно принять:

- датчики напряжения переменного тока промышленной частоты до 1000 В серии ДНТ-02, ДНТ-03 имеющие гальваническую развязку силовых

цепей и цепей контроля с основной приведенной погрешностью измерения на частоте 50 Гц не более 0,5 %;

– датчик серии CSN для измерения переменного и импульсного тока до 1200 А, построенного на базе датчиков Холла, имеющий аналоговый выход по току обладающий быстрым временем отклика, высокой точностью, термокомпенсацией, высоким уровнем электрической изоляции;

– датчик ваттметрирования «ДВТ-02», который предназначен для работы в системах телемеханики и в комплексах АСУ ТП с функциональными возможностями измерения и учета следующих энергетических параметров: технические средства защит двигателя привода при срабатывании уставок тока, напряжения, прекося фаз;

– измерение первичных энергетических параметров и автоматическое вычисление вторичных: активная мощность, реактивная мощность, полная мощность, многотарифный технический учет потребленной электроэнергии, к.п.д. сети.

Датчик «ДВТ-02» позволяет определять коэффициент наполнения насоса, давление на приеме насоса, коэффициент полезного действия привода, задание уставок – аварийных и технологических по току и напряжению, интеграция в существующие системы АСУ ТП по интерфейсу RS485, и в системы диспетчеризации и мониторинга посредством радиомодема TNC-IC.FM, GSM.

Рассмотренный вариант технической реализации на базе системы «Микон-3Р» и новых измерительных датчиков, позволит достаточно точно осуществлять, позиционирование проблемных характеристик электрической сети и работу алгоритмов, обеспечивающих оптимальное управление системы электроснабжения.

УДК 621.3

## **МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ВУЗОВ И КОЛЛЕДЖЕЙ И ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО КУРСУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Бих В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Потребности жизни, а также развитие информационных технологий привели к появлению и развитию открытого образования. Его основные принципы:

– свободный доступ, т.е. право каждого без вступительных испытаний начинать учиться и получить среднее или высшее образование;

– дистанционность обучения, т.е. обучение при минимальном контакте

с преподавателем с упором на самостоятельную работу.

Основными пятью принципами дистанционного обучения являются:

– принцип интерактивности, определяющий важность дистанционного обмена информацией как между преподавателями и студентом, так и студентов между собой;

– принцип стартовых знаний, заключающийся в том, что для дистанционного обучения требуются начальные знания по технике и технологии работы с дистанционными техническими и программными средствами;

– принцип индивидуализации: с помощью входного и текущего контроля составляется индивидуальный план учебы и корректируется образовательная траектория;

– принцип идентификации, состоящий в применении специальных мер для контроля самостоятельности обучения при написании рефератов и контрольных работ и при выполнении тестовых заданий;

– принцип открытости и гибкости обучения, который выражается в 1) «мягкости» ограничений по возрасту, начальному образовательному цензу и учету результатов вступительных контрольных мероприятий для начала обучения; 2) не критичности образовательного процесса к расстоянию, временному графику и конкретному образовательному учреждению, что означает возможность перехода на обучение из вуза в вуз.

Помимо этих принципов необходимо наличие у студента компьютерной техники и доступа в сеть Интернет.

Технологии обучения зависят от целей, которые ставятся перед образованием.

– если цель – освоение определенного материала, то технология такова: учащийся слушает объяснения преподавателя и работает с учебником;

– если целью обучения является усвоение некоторых принципов деятельности и методов работы, тогда обучение заключается в решении типовых задач, проведении исследований изучаемых явлений и процессов;

– когда цель обучения – формирование навыков поисковой, творческой деятельности, то необходимы деловые игры, формирование проблемных ситуаций, доступ к большим объемам справочной информации, средства ее обработки и проверки принятых решений.

Все эти технологии могут быть реализованы с помощью компьютерных обучающих систем, однако при их создании необходимо руководствоваться требованиями, вытекающими из указанных принципов.

Электронные обучающие системы только тогда максимально эффективны, когда они поддерживают все этапы дидактического цикла:

– постановку познавательной задачи;

– предъявления учебного материала;

– применение первично полученных знаний (организация деятельности по выполнению отдельных заданий, в результате которой происходит формирование научных знаний);

– получение обратной связи (контроль деятельности учащихся);

– подготовку к дальнейшей учебной деятельности (задание ориентиров для самообразования, для чтения дополнительной литературы).

Итак, электронные средства обучения должны

- обеспечивать обучаемому выдачу учебного материала;
- активизировать и направлять познавательную деятельность обучаемого;
- сформировать рациональные приемы познавательной деятельности у учащегося.

Таким образом, электронная учебная книга – это не просто текст книги в «электронном исполнении». Это качественно новое средство обучения, придающие процессу обучения новые возможности.

Фактически материал электронного учебника оформляется в виде некоторой базы данных, обеспечивающей поиск необходимой информации без ручного перелистывания страниц и последовательного просмотра текста и графических иллюстраций. Для осуществления такого взаимодействия с изданием в его состав включаются специальные программно-поисковые компоненты – средства навигации. Первоначально для этих целей использовались системы управления базами данных (СУБД). Взаимодействие пользователя с материалами публикации осуществлялось с помощью инструментальных средств интерфейса СУБД. Как правило, такие издания хранились на компакт-дисках.

В настоящее время аналогичные функции реализуются с помощью гипертекстовых систем отображения информации.

Идея гипертекста состоит в том, чтобы дать возможность человеку воспринимать информацию в последовательности, отвечающей его интересам. Сегодня гипертекстовой документ представляет собой множество фрагментов информации (статей), объединенных в некоторую сетевую структуру. В качестве информационных фрагментов могут выступать текст, графический образ, анимация, видеоролики и даже программа.

Достоинствами гипертекстовой системы отображения материала являются:

- ссылки имеют двунаправленный характер, как к объекту ссылки, так и к ее источнику;
- комментарии могут быть сделаны в самом тексте, не нарушая его целостности;
- новые ссылки вводятся без каких-либо проблем;
- структурирование информации. Можно накладывать множественные иерархии на один и тот же материал;
- однажды пройденный маршрут легко запоминается и может быть пройден вновь;
- внешние ссылки могут быть даны на аудио- и видеофрагменты, а также на все виды электронных учебных изданий, что превращает гипертекст в электронную автоматизированную обучающую систему;
- электронная форма представления текста позволяет легко осуществ-

лять поиск при помощи компьютерного анализа текста.

К недостаткам этих систем можно отнести:

- потеря ориентации в большом информационном массиве и дополнительные умственные усилия, требующиеся при выборе маршрута следования по имеющимся связям;

- чтобы гипертекст был эффективным, требуется довольно обширное информационное пространство и достаточно мощные технические средства;

- создание гипертекста невозможно без системных программистов, а его эксплуатация – без службы сопровождения и администрирования;

- требуется новый подход к защите авторского права, так как существует возможность непосредственного включения в систему текстов других авторов;

- длительная работа за экраном в статичной позе, в условиях дефицита времени негативно сказывается на физическом и психическом состоянии человека.

Гипертекстовые издания являются частным случаем гипертекстовых систем и имеют дело с электронными текстами, а также графикой и другими компонентами электронных изданий.

Они реализуют следующие функции:

- поддержка ссылочных связей (вызов текста или иного фрагмента, на который дается ссылка) как внутри некоторого материала (электронный словарь, энциклопедия, каталог и т.п.), так и внутри некоторого хранилища информационных компонентов издания в целом;

- поиск информации с помощью браузинга в программах просмотра;

- ведение структуры (наращиваемой) издания;

- навигация по связям с целью изучения или усвоения знаний об освещенной в издании предметной области;

- выделение в ходе навигации «виртуальных» структур, совокупностей в чем-то близких информационных блоков (применительно к тексту эти совокупности иногда называют «контекстами»);

- запоминание «путей», компоновка в ходе навигации линейных текстов;

- автоматическое построение из гипертекстовой сети связных текстов с использованием эвристических алгоритмов;

- встраивание в текст других компонентов электронного издания;

- организация демонстрации электронного издания.

Ассоциативные связи между информационными фрагментами облегчают усвоение знаний и делают гипертекстовую технологию незаменимой для создания средств обучения. Гибкость гипертекста позволяет преподавателю индивидуализировать процесс обучения, сделать его наглядным и интересным при умеренных затратах на разработку обучающих курсов.

Но все вышесказанное касается главным образом «классических» изданий, содержащих только текст и изображение.

Повышение быстродействия компьютеров и увеличение объема дис-

ковой памяти позволили расширить возможности электронных изданий за счет включения в их состав новых элементов: графической анимации, видео и звуковых приложений, чего нельзя достичь в «бумажном» варианте.

Этому способствовало развитие компьютерных технологий, получивших название «мультимедиа-технологии».

Под мультимедиа понимаются компьютерно-ориентированные методы отображения информации, основанные на использовании текстовых, графических и звуковых возможностей компьютера в интерактивном режиме. Мультимедийная система позволяет объединить различные способы отображения информации: графику, текст, аудиовизуальные материалы, мультипликацию и т.д. Мультимедийные программы, работающие на специальном оборудовании, могут быть подобны кинофильмам (включая звуковое сопровождение), но в отличие от последних допускают интерактивное воздействие на текущие процессы.

В будущем, что электронные учебники постепенно вытеснят традиционные источники и будут способствовать повышению качества образования за счет большей наглядности и интерактивности.

УДК 621.3

## **МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ВУЗОВ И КОЛЛЕДЖЕЙ И ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО КУРСУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

АЛЮХАНОВ К.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В последнее время в связи с ростом объема информации и быстрым развитием компьютерных технологий активно разрабатывают и поддерживают компьютерную технологию обучения. А так же с новыми тенденциями развития образования, заявленными недавно правительством. Предполагается значительно расширить число специальностей, по которым будет проводиться обучение специалистов обучающихся в ВУЗах на бакалавра, в частности речь идет об обучении сварщиков. В связи с этим требуется значительное увеличение преподавательского состава институтов. Использование новейших методик в образовании позволяют увеличивать количество студентов, не изменяя количество преподавательского состава, за счет одного из актуальных для общества направлений – использование средств информатики в образовании. Принципиальная структура образования с использованием средств информатики, точнее интернет-технологий, а так же самой структуры Интернета представлена на рисунке 1.

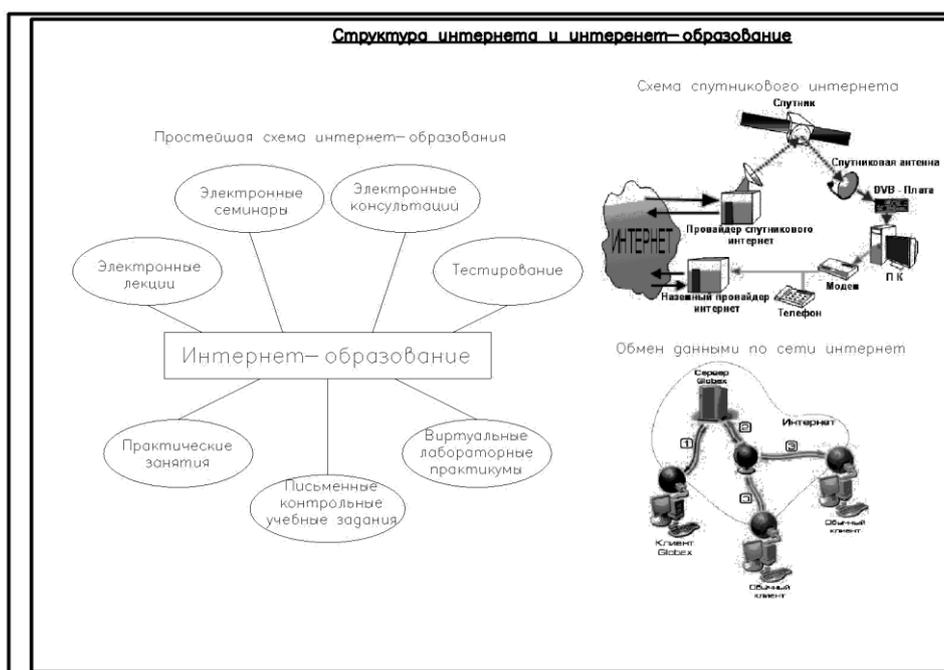


Рисунок 1 – Структура Интернета и Интернет-образования

Электронный учебник должен содержать элементы мультимедиа, которые бы поясняли наиболее сложные моменты курса, и оформлен в качестве Интернет страниц, что значительно облегчает его дальнейшую модернизацию. Хочется отметить, что созданные учебники должны являться глубоко переработанными и дополненными лекциями и соответственно, максимально приближены к программе изучения дисциплины по данной специальности.

В общем случае сетевой курс включает в себя четыре взаимосвязанных блока: инструктивный, информационный, коммуникативный и контрольный блоки (рисунок 2).

*Инструктивный блок.* В нем должны быть решены задачи описания целей курса и организационные стороны его изучения.

*Информационный блок.* Основные функции в концентрированном виде, которые несет этот блок, совпадают с функциями традиционного учебника. В нем представлена определенным образом структурированная учебная информация. Типовая структура информационного блока включает следующие элементы, что и классический бумажный вариант учебников.

*Коммуникативный блок.* В нем решаются задачи дидактического общения посредством текстового обмена.

Это общение реализуется в формах электронных семинаров и электронных консультаций.

Аналогом блока в традиционном очном варианте являются, например, консультации, которые являются дополнительной формой учебных занятий и широко используются при преподавании всех типов учебных дисциплин.

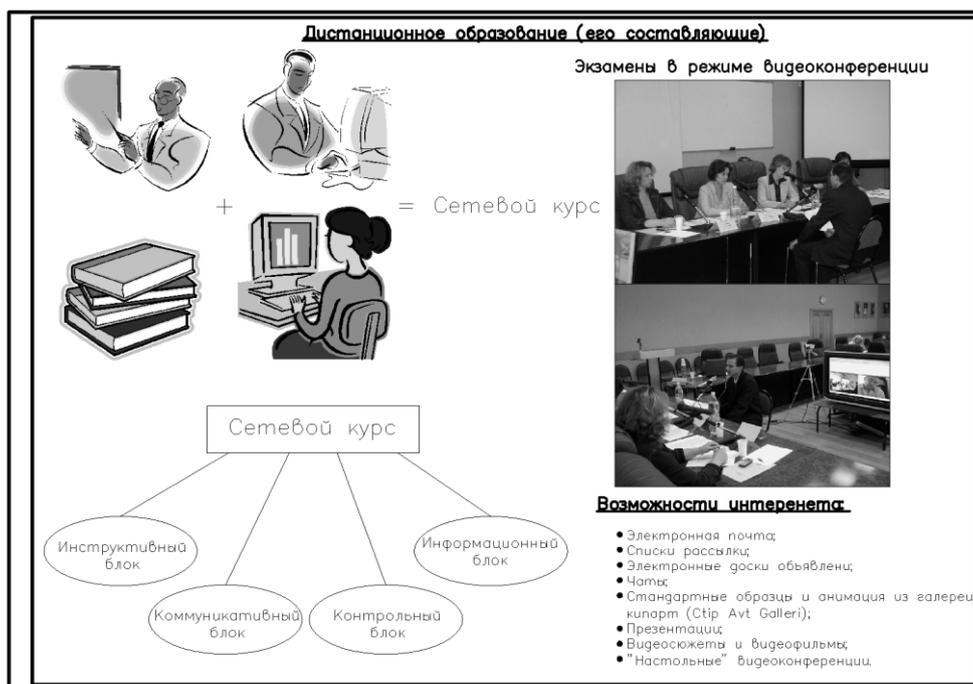


Рисунок 2 – Структура дистанционного образования

**Контрольный блок.** Контроль заключается в проверке хода и результатов теоретического и практического усвоения слушателями учебного материала. Особенностью контроля при обучении в ИОС является необходимость идентификации личности обучающегося для исключения возможности фальсификации результатов контроля. Содержательную часть блока составляют итоговые и промежуточные тесты.

Электронный учебник позволит проводить занятия по дисциплине «электрификация горных производств» через Интернет, что позволит существенно облегчить труд преподавателей, избавить студента от процедуры поиска и покупки книг, оперативно редактировать лекционный материал в соответствии с современными реалиями, предоставление студентам возможности изучать лекционный материал и выполнение практических заданий в домашних условиях и получать необходимый материал через среду Интернет.

Учебник должен содержать большое количество графической информации. Графическое представление учебного материала позволяет передать необходимый объем информации при краткости его изложения, что способствует лучшему и быстрому усвоению материала, без дополнительных усилий. Поэтому архитектура электронного учебника включает графическое обеспечение.

Весьма эффективна вставка мультимедийных роликов, демонстрирующих особо важные и сложные для понимания студентов элементы из курса лекции (рисунок 3).

**Мультимедиа** – это комплекс аппаратных и программных средств, позволяющий человеку общаться с компьютером, используя самые разнообраз-

разные, естественные для себя среды: звук, видео, графику, тексты, анимацию и др. Мультимедиа – богатейшие возможности иллюстрации изучаемого явления. Это повышает качество образования и позволяет удерживать внимание обучающегося. Современные технические средства позволяют создать зрелищное учебное пособие в виде компьютерной анимации или даже игры. Использование средств мультимедиа позволяет активно использовать графику, цвет, мультимедиа, анимацию, звук. Достоинство мультимедийных роликов состоит еще в том, что они позволяют изменять масштаб времени и демонстрировать явления в ускоренном или замедленном темпе, а также использовать выборочную съемку.

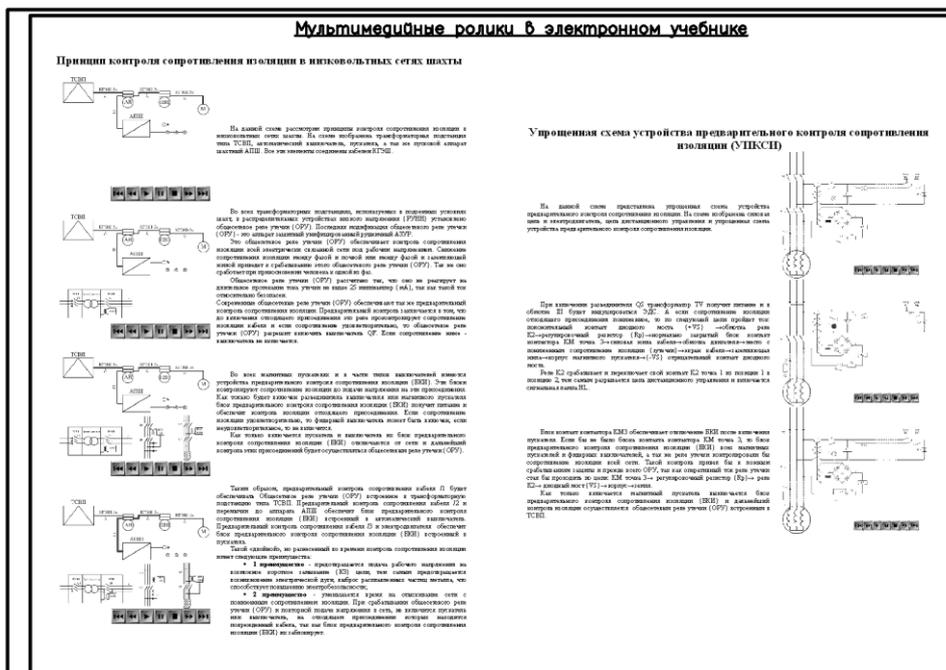


Рисунок 3 – Использование мультимедиа в электронном учебнике

Алгоритм создания мультимедийных роликов в Macromedia Flash состоит из 10 пунктов:

- 1) определиться с содержанием и материалом электронного учебника, набрать в текстовом редакторе выбранный материал (например, в MS Word);
- 2) отформатировать набранный текст в соответствии с ГОСТ 2.106-96 и ГОСТ 2.105-95, (расставить заголовки в документе, ввести единую нумерацию формул, таблиц и рисунков) и вставить оглавление, которое в дальнейшем будет служить гиперссылками в электронном учебнике;
- 3) выбрать наиболее важные и основополагающие элементы учебника для дальнейшего представления их в мультимедийном варианте (в виде flash-роликов);
- 4) продумать текст и соответствующую анимацию flash-роликов;
- 5) набрать закадровый текст для flash-роликов с учетом наилучшего его восприятия;
- 6) записать в аудиоформате набранный текст, расставляя логические

паузы, повышения и понижения голоса в тех местах, где это необходимо (рисунок 4);

7) отредактировать записанный звук в аудио редакторах, например в Sony Sound Forge (повысить или понизить уровень звука, попытаться убрать посторонние шумы и шипения и т.д. (рисунок 5);

8) приступить к созданию flash-роликов в Macromedia Flash или в Adobe Flash, наложив в отдельный слой звук и синхронизировав его с кадрами ролика;

9) создать анимацию flash-ролика и откомпилировать его в swf формат (рисунок 6);

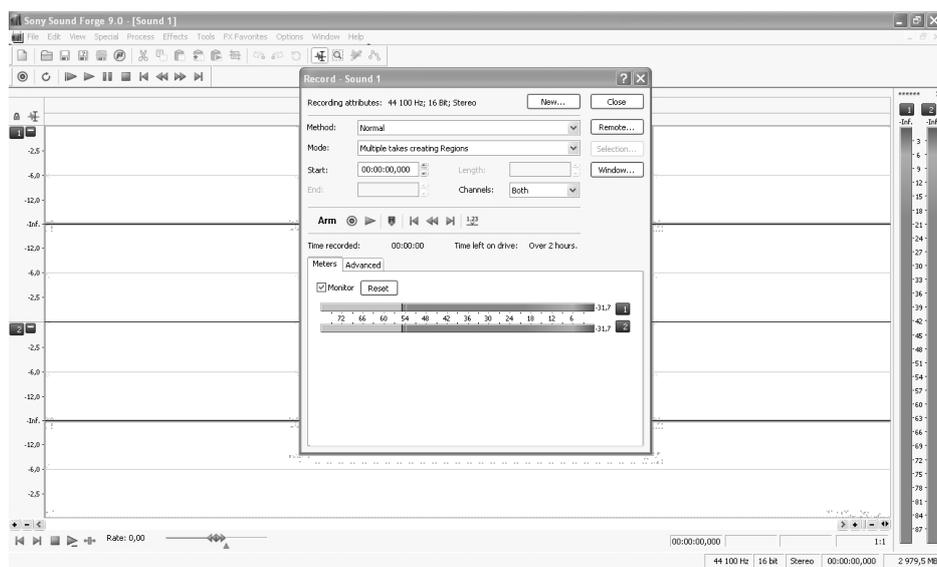


Рисунок 4 – Окно записи звука

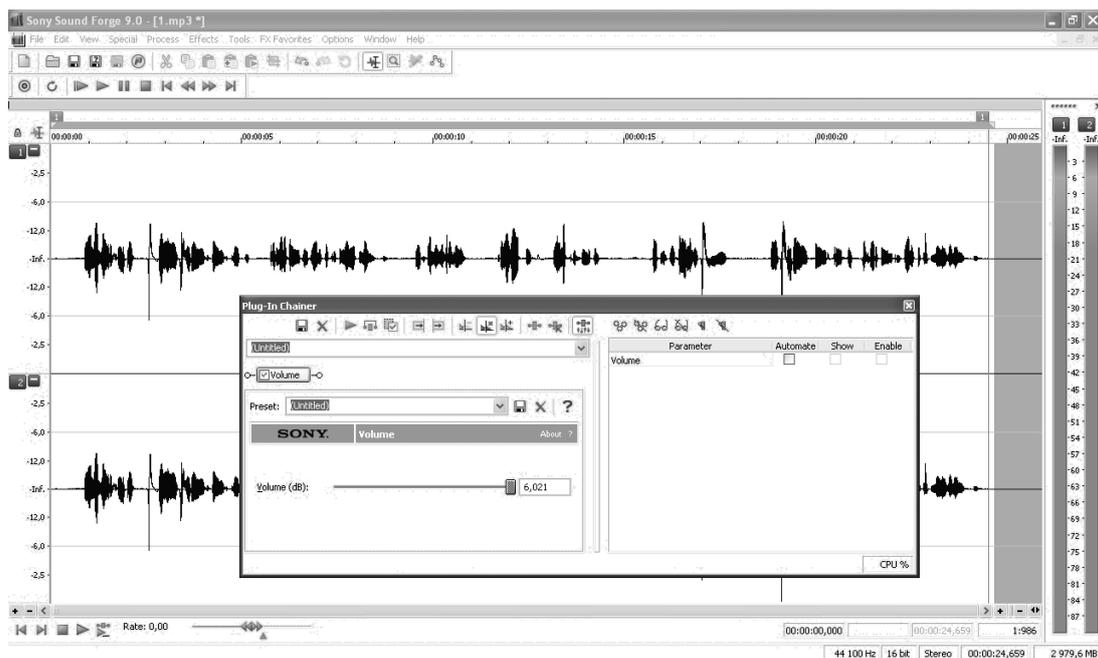


Рисунок 5 – Окно редактирования звуков

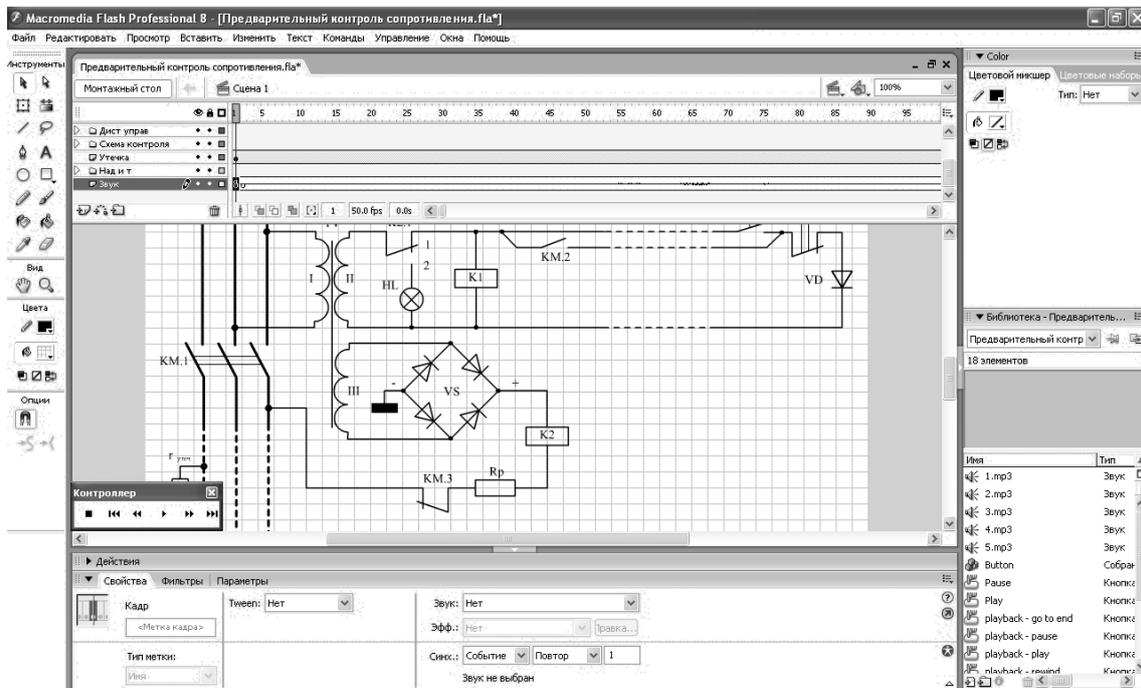


Рисунок 6 – Создание анимации в Macromedia Flash

- 10) перевести набранный и отформатированный текст в веб-документ формата html (например, с помощью MS Front Page);
- 11) вставить в веб-документ созданные flash-ролики (рисунок 7);
- 12) создать внутри веб-документа гиперссылки.

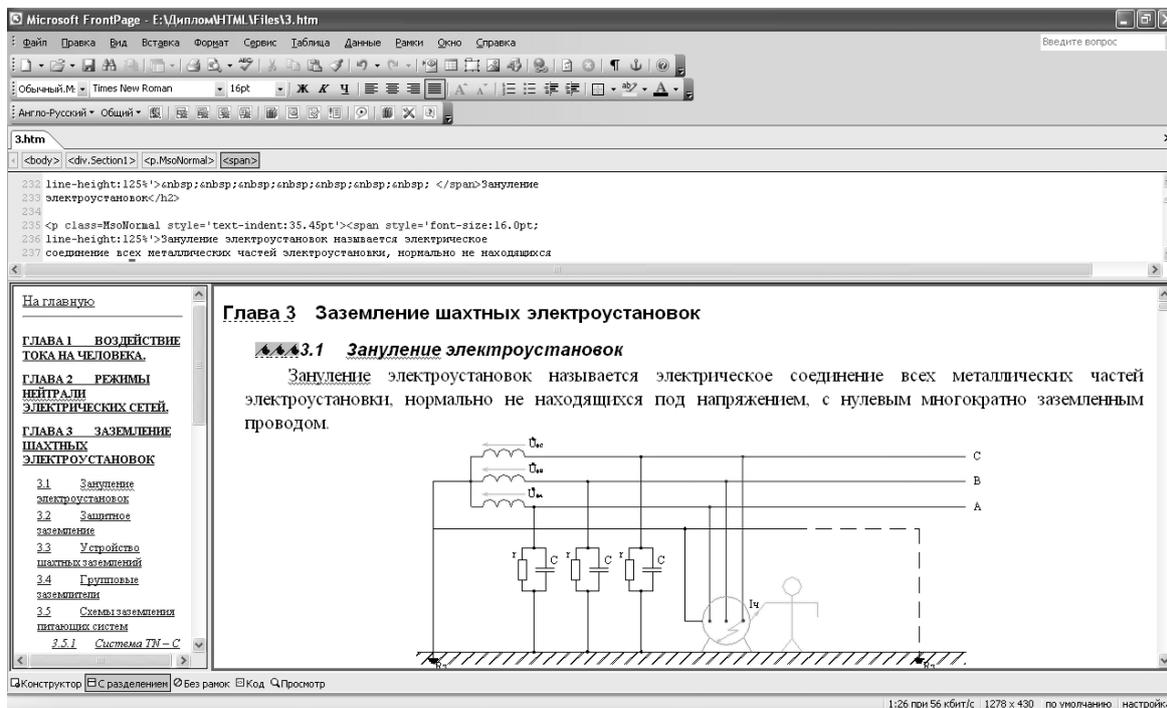


Рисунок 7 – Создание веб-документа

## **ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ ПНЕВМОСНАБЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ РАБОТ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ**

САВЕЛЬЕВ А.Н., КИПЕРВАССЕР М.В., МОИСЕЕВ Л.Л.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
КузГТУ  
г. Новокузнецк*

При ведении буровых работ в железорудных шахтах широко используется пневматический привод с использованием энергии сжатого воздуха. По ряду причин этот тип привода оказался оптимальным для буровых механизмов. Основными из них являются относительная компактность, значительная удельная мощность, возможность длительной работы в режиме стопорения с сохранением рабочих величин момента. Развитие и применение в течение длительного времени пневматического привода привело к тому, что в настоящее время крупные современные железорудные шахты (такие как ш. «Шерегешская», «Абаканская») имеют в составе оборудования полный набор пневмодвигателей в диапазоне мощностей 1,5 – 18 кВт. Двигатели используются в различных буровых агрегатах (перфораторы, буровые машины, станки глубокого бурения скважин), а также для привода подземных технологических машин и механизмов (породопогрузочные машины, вибростолы, виброперегрузатели, установки бетонного торкретирования). Общее число пневмоприводов на крупной шахте составляет от нескольких сотен до 1000 – 1300 штук. Суммарная мощность пневмоприводов достигает несколько тысяч киловатт (6500 кВт на ш. «Шерегешская»), занимая значительную часть (до 40 %) в суммарном энергопотреблении предприятия.

Указанные обстоятельства обеспечивают пневматическому приводу твердые позиции в технологических процессах рудных шахт. Однако существуют проблемы, затрудняющие его использование. Одной из них является выбор рациональной структуры пневмосистемы. Существует несколько основных способов компоновки пневмосети: с одной центральной станцией; с несколькими сравнимыми по производительности станциями, работающими на общую сеть; индивидуальные станции малой и средней мощности для отдельных групп потребителей при отсутствии общей сети; вариации этих схем. Каждая схема имеет достоинства и недостатки. Так отсутствие общей сети исключает затраты на ее содержание, но одновременно снижает надежность снабжения. При схеме с несколькими станциями велики затраты на обслуживание и капитальные затраты. Вопросам транспортирования сжатого воздуха посвящено большое количество работ и научных исследований. [1 – 3] Также исследовались проблемы оптимизации режимов работы компрессорных станций и пневмосетей горных предприятий. [3, 4]

Работа подземного горнодобывающего предприятия сопровождается наращиванием новых выработок от исходной точки начала разработки вслед за обрабатываемым полезным ископаемым. Данный фактор обуславливает неизбежный рост протяженности технологических коммуникаций: путей железнодорожной откатки, вентиляционных выработок, увеличения протяженности кабельных трасс и числа распределительных подстанций, трубопроводов водоснабжения. Предприятиям, использующим в технологическом процессе энергию сжатого воздуха, приходится идти по пути увеличения протяженности пневматических сетей. Структура пневмосети подземного предприятия традиционно реализуется по схеме с центральной компрессорной станцией. При этом рост протяженности пневмотрассы сопровождается непропорционально большим ростом потерь пневмоэнергии. Наступает момент, когда схема с центральной компрессорной станцией перестает быть рациональной и требуется переход к другой компоновке.

Для оценки влияния протяженности, характера компоновки пневмосети на качество пневмоснабжения и экономические показатели предприятия был собран статистический материал по перечисленным показателям работы Шерегешского Рудоуправления ОАО «Евразруда»

На рисунках 1, 2 показана динамика изменения суммарной длины капитальных трубопроводов пневмосети рудника Шерегеш за период с 1953 (начало отработки) по 2004 г. и давления сжатого воздуха у механизмов в проходческом забое. На рисунках 3 – 5 показаны графики изменения объемов добытой железной руды, производства сжатого воздуха и удельного расхода воздуха на 1 т добычи полезного ископаемого этого же предприятия.

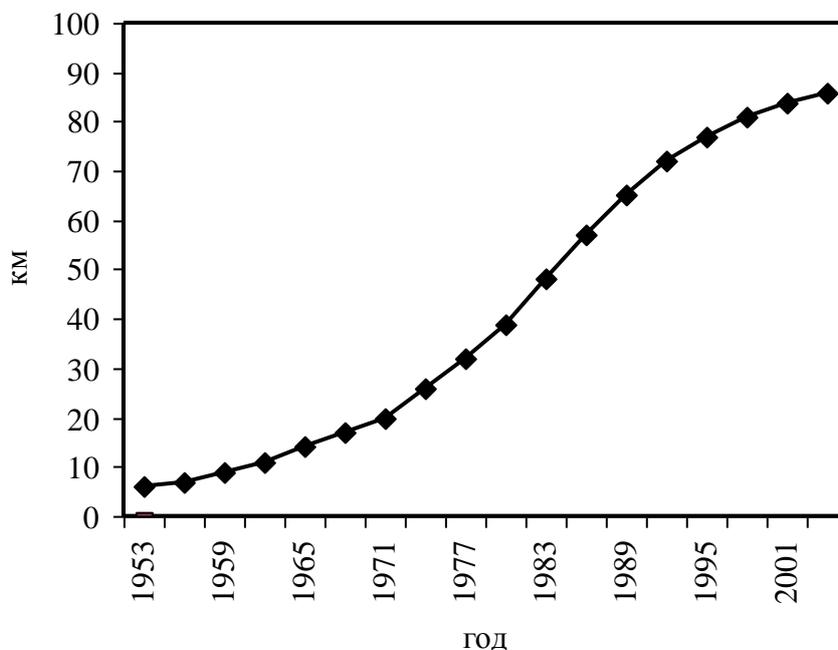


Рисунок 1 – Рост протяженности капитальных трубопроводов

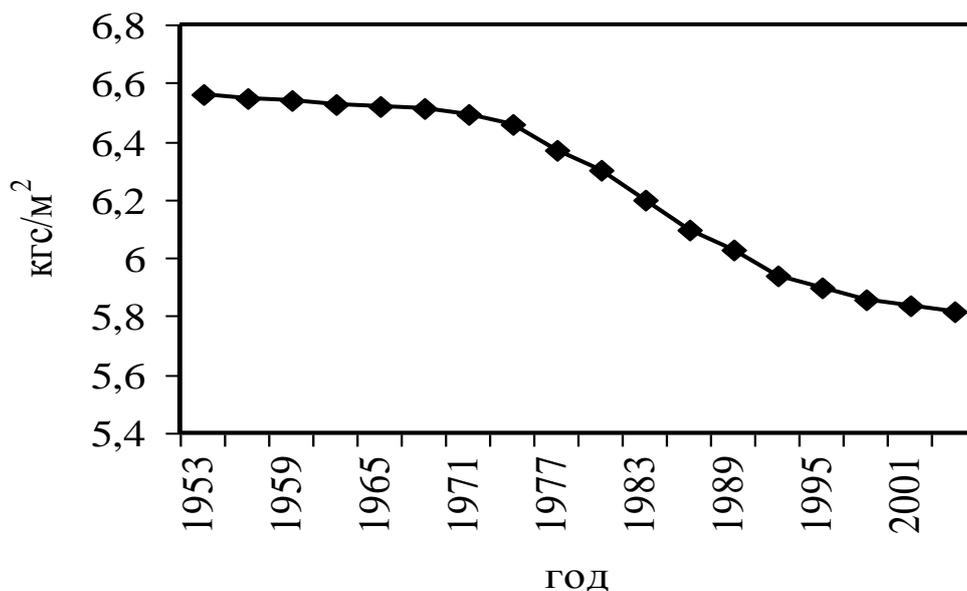


Рисунок 2 – Изменение давления (среднего) в проходческом забое

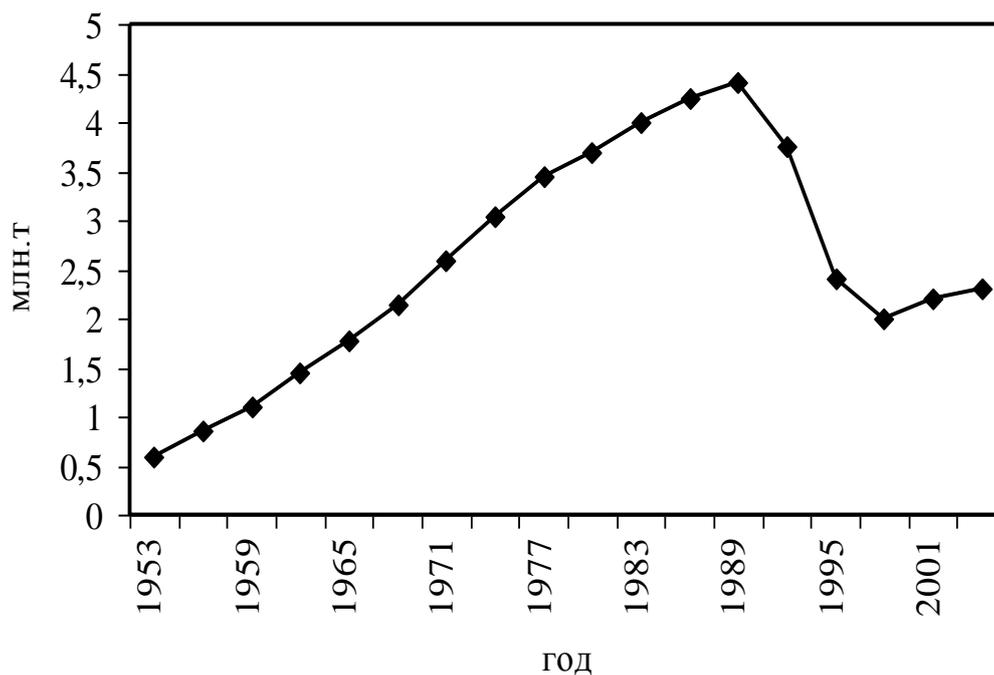


Рисунок 3 – Добыча сырой руды

Совместный анализ динамики изменения параметров показывает, что на первом этапе работы предприятия (1953 – 1973 гг.) качественные изменения структуры энергопотребления были выражены слабо. Основные объемы добычи и проходческих работ были сосредоточены на незначительном удалении (200 – 600 м) от ствола «Главный», по которому осуществлялась пода-

ча сжатого воздуха от центральной компрессорной станции. Рост объема добычи жестко увязан с увеличением объемов производства сжатого воздуха, а удельный расход воздуха на 1 т руды меняется незначительно, оставаясь примерно одинаковым ( $60 - 65 \text{ м}^3/\text{т}$ ) на протяжении 20 лет. Объемы ежегодного прироста добычи руды и производства сжатого воздуха за этот же период составляли  $90000 - 100000 \text{ т/год}$  и  $4 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$  соответственно.

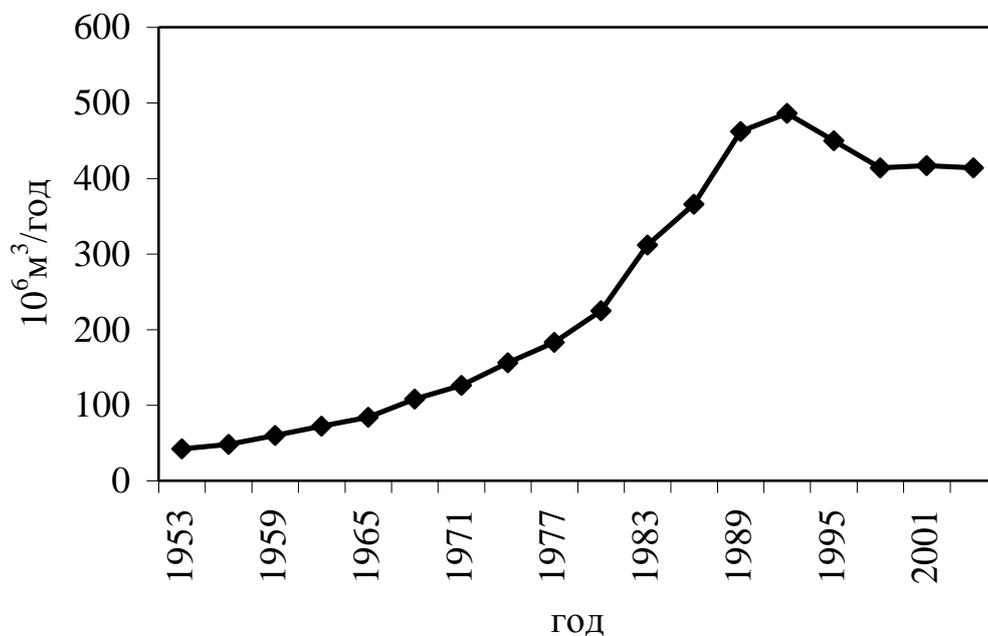


Рисунок 4 – Производство сжатого воздуха

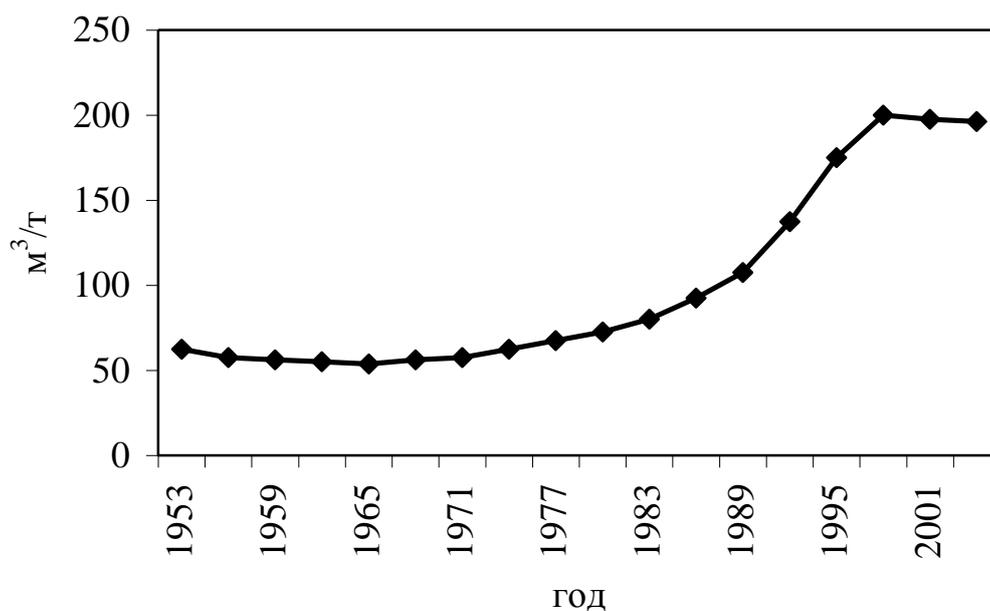


Рисунок 5 – Расход воздуха на 1 т добычи руды

Период времени 1974 – 1980 г. характеризуется стабильным приростом (120 – 140 тыс. т в год) ежегодного объема добычи руды (рисунок 3).

Увеличение длины капитальных выработок шахты и, как следствие, рост длины капитальных трубопроводов составляют 4000 – 4500 м/год и 2000 – 2300 м/год соответственно (рисунок 1). Так же линейно нарастают объемы ежегодного производства сжатого воздуха 11 – 12 млн. м<sup>3</sup> в год (рисунок 1). Темпы относительного прироста объемов сжатого воздуха по сравнению с периодом начала отработки месторождения 1953 – 1973 г. увеличиваются более чем в 2 раза. В то же время прирост объемов добычи составляет 20 – 30 %. Непропорциональное увеличение общего расхода сжатого воздуха по сравнению с ростом добычи практически полностью вызвано ростом потерь в увеличивающейся по протяженности пневмосети шахты. Действием этого же фактора объясняется и начинающийся в этот период рост удельного расхода воздуха на 1 т добытой руды (с 60 до 75 м<sup>3</sup>/т, рисунок 5), длительное время оставшегося неизменным.

В 1990 году предприятие достигает максимального объема добычи сырой руды, составившего 4380·10<sup>3</sup> т в год. В то же время темпы ежегодного прироста снижаются и составляют 50000 – 60000 т руды в год (рисунок 3).

Прирост капитальных выработок и протяженности пневмосети в этот период достигают 8000 м/год и 5000 – 5700 м/год соответственно. Ежегодный прирост потребления сжатого воздуха в этот период составляет 27 – 28 млн. м<sup>3</sup>, а общий объем производства сжатого воздуха увеличивается с 240·10<sup>3</sup> м<sup>3</sup> в 1980 г. до 480·10<sup>3</sup> м<sup>3</sup> в 1990 г. (рост в два раза). На этот период времени приходится ввод дополнительных мощностей по производству сжатого воздуха на компрессорной станции. Один за другим, с 1981 и по 1989 г. были запущены 4 (четыре) турбокомпрессора К-250, производительностью 250 м<sup>3</sup>/мин каждый. Общая производительность компрессорной станции по сравнению с 1978 годом возросла в 2,5 раза, а по сравнению с началом работы шахты в 1953 г. – в 8 раз. Подобные мероприятия отразились на экономических показателях шахты. Удельный расход электроэнергии на 1 т добытой сырой руды возрос с 8,15 кВт·ч в 1955 году до 18,4 кВт·ч в 1990 году. Основные составляющие потребления электроэнергии показаны в таблице 1.

Видно, что расход электроэнергии на производство сжатого воздуха является основной статьей в общем электропотреблении шахты.

Таблица 1 – Основные составляющие потребления электроэнергии

Расход по статьям	Подъем	Вентиляция	Сжатый воздух	Откатка, дробление	Всего
1955	0,85	0,62	6,14	0,54	8,15
1990	1,52	1,87	13,56	1,43	18,38
2001	1,73	4,13	20,35	2,06	28,27

Период с 1991 по 1997 г. характеризуется существенным снижением объемов добычи (с 4380000 т в 1991 году до 2100000 т в 1997 году, рисунок

3), темпов проходки новых выработок и роста длины пневмосети. В то же время, общий расход сжатого воздуха по шахте снизился незначительно, до  $420 \cdot 10^6 \text{ м}^3$  в 1997 г. (снижение 16 % к уровню 1991 г.). Сохранившийся высокий уровень расхода сжатого воздуха можно объяснить тем, что протяженная пневмосеть сама по себе являлась мощным потребителем. С учетом изложенного, резко, до  $200 \text{ м}^3$  вырос удельный расход сжатого воздуха на 1 тонну добытой руды в 1997 году (рисунок 5), а величину потерь сжатого воздуха в сети в 1997 г. можно оценить в 85 – 90 млн.  $\text{м}^3$ , что составляет 22 – 24 % общего объема его производства.

Говоря об экономических показателях добычи сырой руды по шахте «Шерегешская» можно отметить, что доля расходов на производство сжатого воздуха в настоящее время достигла 9,3 % в себестоимости 1 т руды и продолжает увеличиваться. Подобный размер трат по статье обуславливает необходимость выполнения мероприятий (организационных и технических) по их уменьшению. Способом снижения затрат может явиться уменьшение потерь пневмоэнергии в протяженной сети посредством переноса производства сжатого воздуха при помощи мобильных компрессорных станций в районы его основного потребления.

Такие станции малой и средней мощности, адаптированные к перемещению по горным выработкам, имеющие соответствующие габариты и ходовую часть, в настоящее время серийно выпускаются отечественными предприятиями. Производительность станций составляет 10 – 20 – 50  $\text{м}^3/\text{мин}$ , с соответствующим увеличением мощности электродвигателя.

Станции могут транспортироваться и устанавливаться в непосредственной близости от места ведения буровых работ и подключаться либо индивидуально, либо к общей сети. Такое размещение компрессора позволяет резко сократить потери в трубопроводах из-за сокращения их длины.

Выводы:

1. Обеспечение работоспособности пневмооборудования при существующей компоновке сети пневмоснабжения возможно с использованием передвижных компрессорных станций малой и средней производительности, подключенных к общей сети. При этом производство сжатого воздуха переносится в районы его потребления, что резко снижает потери в трубопроводах.

2. Схема пневмосети подземного предприятия с центральной компрессорной станцией при значительном росте протяженности трубопроводов перестает удовлетворять условиям качественного и экономического энергообеспечения. Практическим пределом для данной схемы следует считать удаление на 4000 – 4500 м от компрессорной станции.

#### Библиографический список

1. Мурзин А.В., Цейтлин Ю.А. Пневматические установки шахт. М.: Недра, 1985, – 39 с.
2. Фролов П.П., Дмитриев В.Т. Повышение эффективности работы компрес-

сорных станций рудников и шахт / Известия вузов. Горный журнал. – 1982. – № 7. – С. 92 – 95.

3. Моисеев Л.Л. Исследование вопросов регулирования рудничных компрессорных установок / Вопросы горной механики и шахтного транспорта: Межвузовский сб. научных трудов. Кузбасский политехнический институт. Кемерово: КузПИ, 1991. – 141 с.

УДК 621.3

## **ВНЕШНЯЯ И ВНУТРЕННЯЯ СРЕДА ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

КУЗНЕЦОВА Е.С., СВИРСКАЯ Г.С., КИПЕРВАССЕР М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В настоящее время на промышленных предприятиях существует энергоменеджмент, в функции которого входит:

- учет, нормирование, планирование энергоресурсов;
- надзор за работой энергооборудования;
- мониторинг и контроль за потреблением энергоресурсов;
- оперативное управление энергооборудованием для ликвидации аварии;
- составление планов плановых и капитальных ремонтов, модернизации или реконструкции энергохозяйства;
- анализ договоров с поставщиками энергоресурсов и ремонтными организациями;
- проверка знаний персонала по ПТБ;
- разработка планов по энергосбережению.

Функции энергоменеджмента на промышленном предприятии выполняет отдел главного энергетика (ОГЭ), который имеет в своем составе несколько бюро. Количество бюро для каждого предприятия индивидуально. Бюро со своими функциональными обязанностями представляют микросреду отдела главного энергетика. Структура микросреды ОГЭ представлена на рисунке 1.

Кроме отдела главного энергетика на предприятии существуют несколько других отделов, необходимых для его функционирования. Каждый отдел отвечает за свой менеджмент: финансовый отдел – финансовый менеджмент, отдел инноваций – инновационный менеджмент и т.д. Отделы по различным вопросам контактируют с бюро из отдела главного энергетика.

По некоторым вопросам ОГЭ энергетика взаимодействует со сторонними организациями: Ростехнадзор, поставщики энергоресурсов, сервисные предприятия и т.д.

Взаимоотношения ОГЭ со сторонними организациями и отделами предприятия создают макросреду ОГЭ. Структура макросреды ОГЭ представлена на рисунке 2.

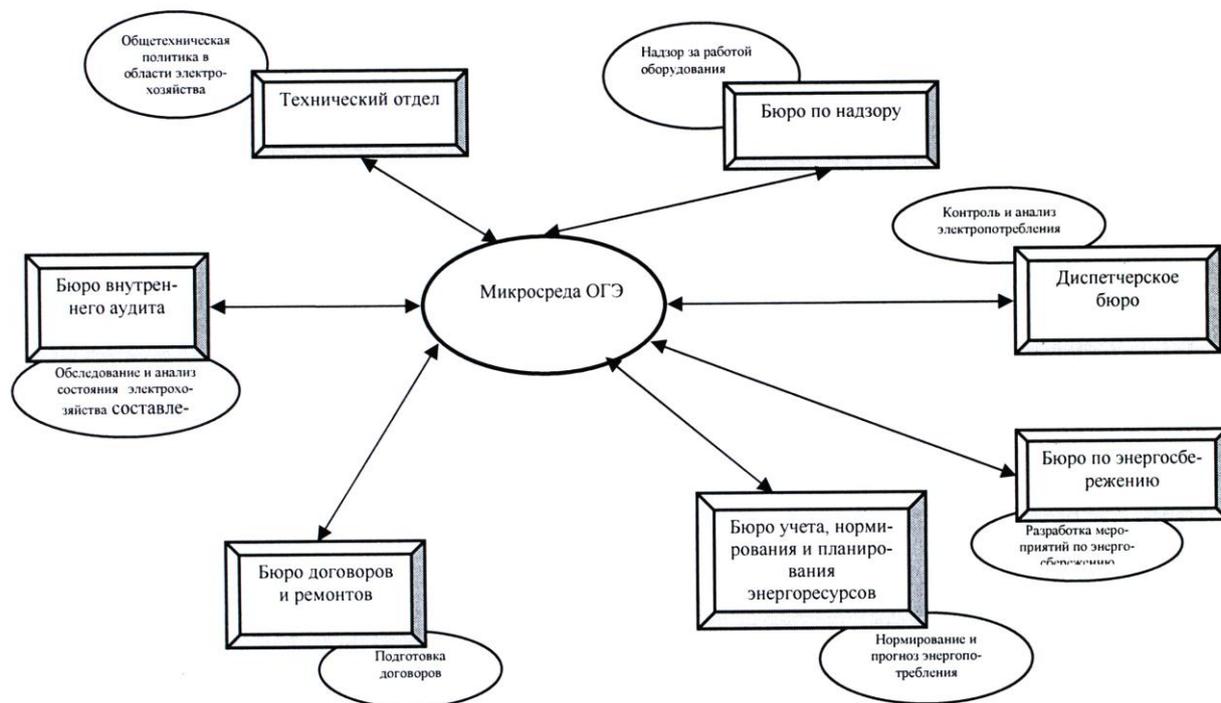


Рисунок 1 – Микросреда отдела главного энергетика

В процессе работы происходит непрерывное взаимодействие макро и микросред ОГЭ.

Например, если требуется замена устаревшего энергооборудования, техническое бюро ОГЭ разрабатывает техническое задание, где указывает основные параметры оборудования. Отдел инноваций подбирает несколько фирм, производящих нужное оборудование. Проводится тендер, где выбирается требуемое оборудование и фирма поставщик. Юридический отдел подготавливает договор на поставку оборудования. Финансовый отдел отвечает за своевременную оплату по договору. Отдел капитального строительства определяет сроки проведения капитального ремонта для замены старого оборудования. Плановый отдел определяет объемы производства с учетом простоев на период ремонта. Ростехнадзор выдает разрешение на подключение энергоустановки. Бюро учета, нормирования и планирования энергоресурсов планирует энергопотребление после замены энергооборудования. Отдел кадров отправляет персонал на повышение квалификации, если это требуется для эксплуатации вновь вводимого энергетического оборудования.

Таким образом, энергоменеджмент затрагивает не только инфраструктуру предприятия, но это и управление персоналом, правовые отношения, технология производства, экология, экономика и т.д.

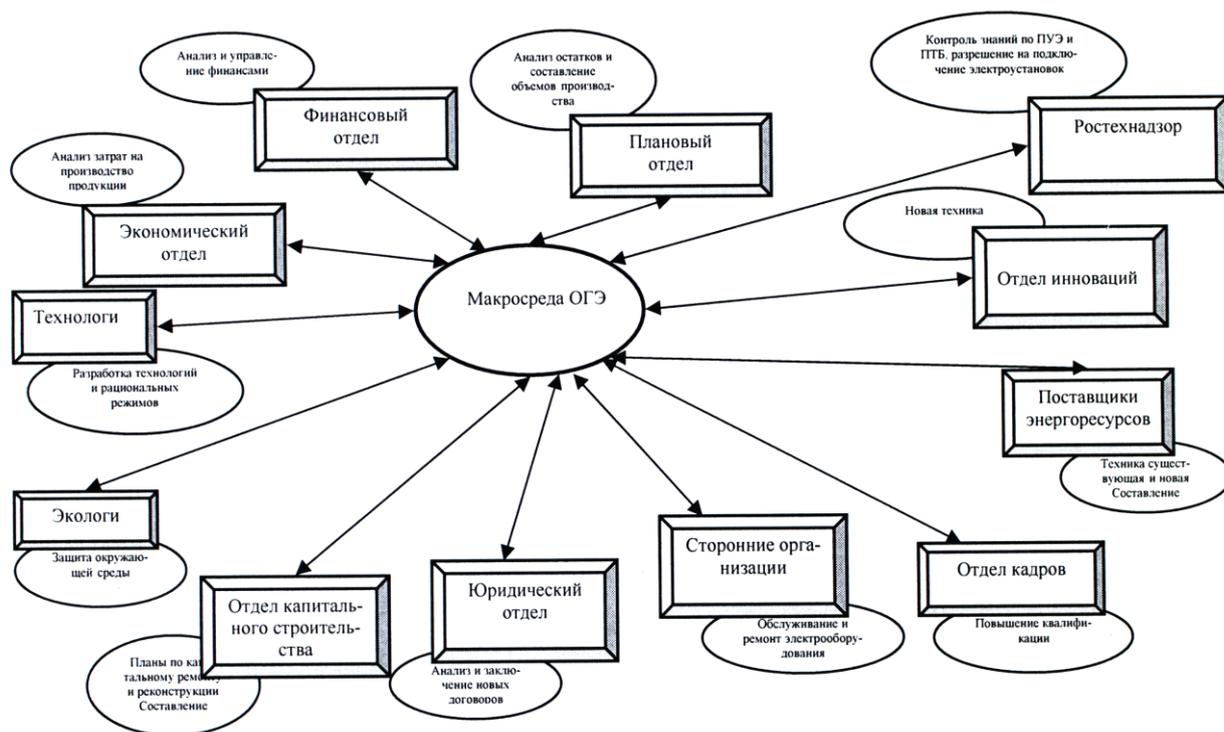


Рисунок 2 – Макросреда отдела главного энергетика.

В заключении можно отметить следующее:

- внутренняя структура отдела главного энергетика является не случайной и отражает многообразие проблем и задач, возлагаемых на отдел;
- существующая микросреда (структура) отдела не является жестко детерминированной. Она должна модернизироваться вслед за изменением макросреды существования энергетической службы и профиля решаемых проблем;
- одной из важнейших сторон развития микросреды энергоменеджмент становится взаимодействие с рыночными структурами в вопросах покупки, транспорта, учета и взаиморасчетов за потребленную электроэнергию.

УДК 621.771.01

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОРТОВОГО ПРОКАТА

ФАСТЫКОВСКИЙ А.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Повышение энергетической эффективности является центральной задачей экономического развития страны. Россия располагает большим потен-

циалом энергосбережения. Реализация освоенных на практике организационных и технических мер экономии энергоресурсов, как показано в Энергетической стратегии России на период до 2020 года, способна уменьшить современный их расход в стране на 40 – 80 %, или на 360 – 430 млн. т. условного топлива в год. Потенциал экономии электроэнергии составляет 220 – 260 млрд. кВт·ч, или 25 – 30 % от современного потребления электроэнергии [1].

Металлургия – одна из наиболее энергоемких отраслей экономики, так как потребляет 90 % добываемого коксующегося угля, 50% производимой электроэнергии, 25 % добываемого природного газа, что является причиной высокой доли энергетических затрат в себестоимости продукции [1].

В условиях возрастающей конкуренции в отрасли снижение цен на металлопродукцию за счет оптимизации потребления энергетических ресурсов является одним из важнейших факторов, определяющих финансово – экономическое состояние металлургических предприятий и их рыночную позицию.

При производстве проката на современных мелкосортных станах для нагрева заготовок перед прокаткой требуется топливная энергия в количестве 1,30 – 1,65 ГДж/т готовой продукции, а на саму прокатку – 0,45 – 1,2 ГДж/т готового проката [2]. Таким образом определяющим в затрате энергии на производство готового проката является нагрев.

К возможным вариантам экономии энергии при нагреве относятся повышение температуры нагрева заготовок, увеличение коэффициента полезного действия (КПД) нагревательных устройств и снижение температуры нагрева заготовок. Так при температуре нагрева выше 650 °С удельный расход энергии на нагрев снижается более чем на 50 % по сравнению с холодным посадом, а при посадке заготовок с температурой выше 980 °С – на 70 – 80 %. Повышение КПД нагревательных устройств на каждые 5 % приводит к снижению удельного расхода энергии на нагрев заготовок на 4,8 % [3].

Особое значение имеет снижение температуры нагрева заготовок перед прокаткой. Так при снижении температуры нагрева на 100°С удельный расход топлива уменьшается на 9 – 10 %. Снижение температуры нагрева это наиболее простой путь практически не требующий затрат. Еще одна составляющая эффекта от снижения температуры это улучшение свойств готовой продукции. Однако не смотря на простоту и очевидность преимущества к такому решению в условиях производства относятся осторожно это связано с тем что снижение температуры нагрева неизбежно приводит к увеличению затрат мощности на деформацию соответственно увеличив вторую составляющую затрат энергии в прокатном производстве. Для всесторонней оценки эффекта от снижения температуры нагрева требуется точный аналитический инструмент, позволяющий обоснованно определить дополнительные затраты энергии от понижения температуры прокатки, определить оптимальные условия формоизменения. Для решения данной задачи была разработана математическая модель, учитывающая при расчете энергосиловых

параметров изменения температуры в процессе прокатки (с учетом потерь температуры на конвекцию, излучения, от контакта с валками, приrost температуры за счет деформации), сопротивления деформации материала (получены аналитические зависимости сопротивления деформации, описанные мультипликативной моделью, для 50 марок стали и металлов, создана база данных удобная при машинных расчетах), а также износ валков.

На основе разработанной модели спроектирован электронный пакет прикладных программ. При этом, в качестве интегрированной среды разработки Windows – приложений выступила Borland Delphi 7.0 Enterprise [4].

Аналитические исследования, с использованием разработанного пакета прикладных программ, показали перспективность снижения температуры нагрева на примере прокатки квадрата со стороной 60 мм в условиях стана 450 ОАО «ЗСМК». Так при снижении температуры с 1220 до 1120°С расход топлива (газа) уменьшился на 14 м<sup>3</sup>/т, а расход электроэнергии для формоизменения увеличился на 7,88 кВт·ч/т. С учетом стоимости газа и электроэнергии на внутреннем рынке экономический эффект составит 12,24 руб./т, при экспортной цене газа – 68,16 руб./т. Причем необходимо отметить, что данный эффект не требует дополнительных затрат на оборудования или материалы, а обеспечивается только за счет рационального перераспределения энергетических потоков.

Увеличить полученный эффект можно за счет уменьшения второй составляющей затрат энергии на прокатку, связанной с формоизменением металла, благодаря использованию скрытых резервов процесса. Как известно процесс прокатки реализуется посредством использованием сил трения на контакте металла с валками, чем больше потенциал сил трения задействован в формоизменении, тем выше КПД процесса и соответственно ниже затраты энергии. Однако разные силовые условия в момент захвата и на установившейся стадии процесса прокатки создают предпосылки к не полному использованию сил трения. Как показали расчеты, при деформации прямоугольной полосы в гладких валках потенциал сил трения реализуется на 50 – 60 % при прокатке в калибрах на 35 – 40 %, что существенно снижает эффективность процесса прокатки, обуславливает необходимость использования дополнительного оборудования. Перспективным направлением в повышении эффективности использования сил трения для формоизменения являются такие совмещенные процессы, как деформация в системе приводная – неприводная клеть, прокатка – разделение с использованием неприводных делительных устройств, прокатка – прессование. Практическое применение совмещенных процессов использующих резервные возможности сил трения на контакте позволит увеличить КПД формоизменения на 15 – 20 %, снизит металлоемкость оборудования. Комплексное использование рассмотренных мероприятий позволит без привлечения серьезных затрат снизить энергопотребление при производстве сортового проката.

## Библиографический список

1. Волкова И.А. Новые направления энергосбережения в металлургии / И.А. Волкова // Металлург. – № 8. – 2005. – С. 32 – 36.
2. Пути снижения энергозатрат при непрерывной сортовой прокатке / С.М. Жучков (и др.) // Металлург. – № 4. – 2004. – С. 63 – 66.
3. Дубина О.В. Динамика потребления энергоресурсов в прокатных цехах / О.В. Дубина // Производство проката. – № 1. – 2003. – С. 29 – 32.
4. РФ Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в гос. Реестре № 2007610475. Расчет энергосиловых параметров горячей прокатки / А.Р. Фастыковский, О.В. Вандакуров. – Заявка № 2006614099; зарегистрировано 26.01.07.

УДК 621.783

### **ПОДГОТОВКА ШАХТНОГО МЕТАНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА**

СТЕРЛИГОВ В.В., КОРОТКОВ С.Г., РАЗМАХНИН Д.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Проблема шахтного метана, которая долгое время рассматривалась в рамках вопроса безопасности труда шахтеров, в последнее время приобрела другие аспекты ее разрешения.

Экологический аспект предполагает подавление выбросов метана в атмосферу, поскольку он является одним из газов, которые создают так называемый «парниковый» эффект, причем более значительный, чем это делает диоксид углерода. В соответствии с Киотским протоколом предусмотрена плата за выбросы метана в атмосферу, а если учесть, что указанный акт начинает действовать в России с 2008 года, то вопрос этих выбросов уже приобретает стоимостные оценки.

С другой стороны, конечный размер запасов энергоносителей, который человек использовал до сих пор в своей деятельности, требуют использования альтернативных, нетрадиционных видов топлива и энергии. Для металлургической промышленности, которая работает на техногенных газах (доменной, коксовой и другие), использование шахтного метана является нетрадиционным подходом. В настоящее время наибольшее распространение получило сжигание метана для собственных нужд при производстве электрической и тепловой энергии на шахтах. Известны значительные по мощности комплексы, которые применяют за рубежом (Австралия) для этих целей, когда при дегазации утилизируется прямо на месте.

Исследования, которые несколько лет проводили работники кафедры

теплофизики и промышленной экологии Сибирского государственного индустриального университета на одной из шахт Кузбасса, показали, что получаемый при дегазации газ, содержащий 95 % метан, имеет круглогодичную температуру 8 – 12 °С и влагосодержание, соответствующее равновесному состоянию при этой температуре, 6 – 8 г/м<sup>3</sup>. Наличие влаги в извлекаемом газе практически не влияет на процесс его промышленного использования непосредственно вблизи скважины и особенно при теплом климате. При транспортировке такого газа на расстояние, которое будет значительным, если его использовать вне шахты, необходимо предварительно его осушить, как это делается и с природным газом перед закачкой его в трубопроводы. На промышленных месторождениях это делается путем охлаждения газа с использованием мощного компрессорного оборудования с достижением точки росы - 30 °С.

При использовании шахтного метана, очевидно, объемы его будут значительно меньше, и применять специальное мощное оборудование газовой промышленности невозможно, а небольших установок такого назначения просто не существует. Поэтому возникает ряд специфических вопросов по подготовке метана перед транспортировкой его с шахты на завод или к другому удаленному потреблению. Поскольку указанные проблемы (конденсация, замерзание) возникают только в холодное время года, для подготовки газа можно использовать его охлаждение за счет низкой температуры атмосферного воздуха.

Эта идея, создателем и разработчиком которой является один из авторов настоящей статьи, реализована Кузбасским центром управления энергосбережения «Кузбасс-Электро» на одной из шахт Кузбасса. Построенная установка позволила снижать температуру газа до отрицательных значений температуры с удалением образующего конденсата.

Основным процессом в заданной схеме осушки является теплопередача от подаваемого в циклон, к атмосферному холодному воздуху, который подается на наружную поверхность циклона. Количество отводимого тепла выражается уравнением

$$q = \frac{t_u - t_g}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_g}}, \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

где  $t_u$  и  $t_g$  – температура газа и атмосферного воздуха, соответственно, °С;

$\alpha_u$  и  $\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи на газовой и воздушной стороне, Вт/м<sup>2</sup>·град;

$\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – толщина циклона и ледяной корки, м;

$\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности стали и льда, Вт/м<sup>2</sup>·град.

Общий тепловой поток (отбор тепла воздухом) выражается уравнением

$$Q_g = q \cdot F_1, \quad (2)$$

где  $F$  – площадь поверхности циклона,  $m^2$ ;

На основании уравнения теплового баланса  $Q_b=Q_c$ , определяли уровень понижения температуры, соответствующее ей влагосодержание, а так же толщину корки льда, образующегося из конденсата на внутренней поверхности циклона.

Расчеты проводили в интервале изменения температуры атмосферного воздуха от  $-10^{\circ}C$  до  $-30^{\circ}C$ , начальная температура газа при этом оставалась постоянной  $t_r = 10^{\circ}C$ . На наружной поверхности циклона задавались граничными условиями I рода ( $t_{\text{среда}} = \text{const}$ ), а на внутренней поверхности задавались граничными условиями III рода ( $t_{\text{пов}} = \text{const}$ ). Последнее обусловлено тем, что внутренняя поверхность – это место, где существует пограничное состояние «вода-лед». Образующиеся в охлажденном газе капли конденсата за счет центробежных сил, действующих в циклоне, отбрасываются на его стенки. Действующая с наружной стороны циклона отрицательная температура ведет к дальнейшему отводу тепла и образуется корка льда. По мере нарастания тепловое сопротивление ее увеличивается, интенсивность теплового потока уменьшается и, наконец, устанавливается равновесие, когда на поверхности льда устанавливается температура переходного состояния «жидкость-лед», т.е.  $t_d=0$ .

Расчеты показали, что понижение температуры шахтного газа и степень его осушения зависят от количества подаваемого охлаждающего воздуха, обеспечивающего тот или иной уровень интенсивности теплоотбора. Поскольку эти величины зависят от многих факторов, в докладе не приводятся количественные показатели расчетов, поскольку они в каждом случае будут разными.

В целом, расчеты показывают, что влагосодержание может быть понижена до  $1 m^3$ , что соответствует равновесной температуре (точке росы) порядка  $0^{\circ}C$ . Дальнейшая осушка возможна с использованием цеолитов или других влагопоглотителей, что и делалось на опытной установке.

Таким образом, была предложена методика расчета, создана математическая модель осушки шахтного метана при использовании отрицательных температур окружающей среды.

УДК 004

## **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ**

ПЕТРОВ Е.В., АВТУШЕНКО В.В., МУРАТОВ В.М.

*НОУ Региональный центр подготовки персонала «Евраз-Сибирь»  
г. Новокузнецк*

Система менеджмента качества обучения в РЦПП должна учитывать интересы и требования субъектов, имеющих отношение к учебному процессу. К числу основных субъектов относятся следующие: Российские стандар-

ты SMK; органы государственных инспекций и надзора в области охраны труда и промышленной безопасности; собственники и менеджеры предприятий-заказчиков; слушатели РЦПП; системы менеджмента качества РЦПП и предприятий – заказчиков образовательных услуг. Удовлетворение интересов и требований субъектов обучения является гарантией конкурентной устойчивости РЦПП. Поэтому совокупность интересов и требований субъектов должна быть сгруппирована и включена в систему контроля качества обучения.

Типовая модель контроля качества обучения, разработанная в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2001, включает в себя перечисленные ниже процессы (рисунок 1):

- изучение потребностей заказчиков;
- управление качеством ресурсов;
- контроль процесса обучения;
- оценка результативности обучения;
- анализ и улучшение деятельности.

Следует учесть, что типовая модель допускает различный состав и содержание контролируемых параметров и процессов контроля.

Для РЦПП в создании Системы контроля качества обучения приоритет нужно отдать требованиям конкурентоспособности, поскольку она предопределяет устойчивое функционирование и развитие центра. Наряду с этим необходимо учесть требования других субъектов, но при этом ввести допустимые ограничения для достижения их совместимости. Разумеется, должное внимание должно быть уделено требованиям SMK. Однако масштабность работы по этим требованиям может быть различной, что допускается SMK. Если выполнять требования к контролю на максимально возможном уровне, то можно иметь неоправданно большие затраты при их низкой окупаемости.

По этой причине многие организации, предоставляющие образовательные услуги, ограничиваются созданием Системы оценки результативности обучения (СОРО), которая при умеренных затратах дает основную информацию о качестве учебного процесса. Соответственно благодаря этому достигается высокая окупаемость затрат.

Таким образом, основные принципы, которых нужно придерживаться при создании Системы контроля качества обучения в РЦПП, сводятся к следующим:

- совместимость с интересами и требованиями субъектов, имеющих отношение к образовательному процессу;
- информативность для корректирующих воздействий;
- экономичность по затрачиваемым ресурсам.

Интересы и требования субъектов образовательного процесса реализуются в типовой модели контроля качества обучения.

Анализ Интернет-информации, публикаций и монографий показал, что существующие СОРО базируются, в основном, на методике Д. Киркпатрика.



Рисунок 1 – Типовая модель системы оценки качества обучения и взаимосвязь ее основных процессов

Она разработана более 40 лет назад, широко используется за рубежом и осваивается в России [1 – 3]. Согласно этой методике оценка результативности обучения производится на четырех уровнях. Однако в большинстве корпоративных СОРО используются преимущественно два первых уровня. Наиболее сложный и трудоемкий для реализации четвертый уровень используют всего 10 % систем корпоративного обучения.

Около 10 лет назад четвертый уровень получил развитие в методе, учитывающем возврат средств на вложенные инвестиции (ROI).

$$ROI = (\text{Доходы} - \text{Затраты}) / \text{Затраты} \times 100.$$

Использование ROI способствует совершенствованию проектирования, разработки и доставки учебного материала, повышает ценность обучения персонала организации. Большая сложность в использовании ROI связана с определением будущих доходов в денежной форме. Поэтому только 5 % образовательных проектов оценивается по этой модели. Если полная и достоверная информация недоступна, то может быть использован упрощенный подход к оценке возврата на инвестиции – метод SROI, учитывающий конкретные критерии обучающих проектов (экономические, качества и эффективности).

Кроме расчета ROI и SROI получил развитие метод СВА-анализ выгод и издержек. При этом методе делается попытка оценить в денежной форме каждый элемент проекта, приводящий к прибыли или издержкам, даже если этот элемент не имеет прямого денежного выражения.

Таблица 1 – Использование уровней оценки результативности обучения в корпоративных системах по методике Д. Киркпатрика

Уровень	Наименование уровня оценки результативности обучения	Использование оценки результативности обучения в различных организациях, %
1	Реакция слушателей на программу и процесс обучения	100
2	Оценка знаний и опыта, полученных слушателем по программе обучения	60
3	Оценка поведения на рабочем месте	30
4	Оценка влияния программы обучения на бизнес организации	10

Новые методы оценки результативности обучения ROI, SROI и CBA трудоемки и дают приближенные значения определяемых показателей, поэтому их сложно использовать для действующего образовательного процесса и точных экономических расчетов. Однако они могут быть полезны для оценки эффективности новых образовательных проектов. Кроме этого, используя их, можно определять приближенные значения экономических выгод обучения персонала, благодаря которым упростится бюджетирование РЦПП со стороны основных заказчиков. Поэтому указанные выше методы целесообразно осваиваться в РЦПП.

#### Библиографический список

1. Печенкин А. Оценка эффективности e-Learning проектов // World, 2004, № 2, с. 16 – 21; № 2005, № 1, с. 40 – 47.
2. Левкина О.М., Автушенко В.В., Левиус А.М. Методические рекомендации по организации проведения компьютерной оценки результативности обучения РСиС ОАО «ЗСМК». – Новокузнецк: ЗСМК, 2005. – С. 23.
3. Петров Е.В. Модели и методы автоматизированного управления персоналом металлургического комбината / канд. диссерт. – Новокузнецк: Сиб-ГИУ-ЗСМК, 2006. – 254 с.

УДК 658.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ СОВРЕМЕННОЙ HR-СЛУЖБЫ

Фокин К. Б.

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»  
г. Новокузнецк*

В течение длительного периода времени работа по управлению персоналом была децентрализована. Основным структурным подразделением, за-

нимающимся кадровыми вопросами, являлся отдел кадров, в компетенцию которого входило, как правило, оформление приема и увольнения работников, учет и движение текучести кадров. Остальные функции по управлению персоналом были делегированы линейным руководителям. Ситуация изменялась с того момента, когда большинство руководителей стало концентрировать внимание на причинах успешной деятельности своих зарубежных коллег. Анализируя их работу, технологию, методы и приемы управления, специалисты пришли к выводу о том, что одной из основ достижения высоких результатов является всесторонняя работа с персоналом, способствующая достижению стратегических целей компании. Она основывалась на тщательно спроектированной и организованной кадровой службе или службе управления персоналом.

Кадровая служба – совокупность специализированных структурных подразделений в сфере управления предприятием вместе с занятыми в них должностными лицами (руководители, специалисты, исполнители), призванными управлять персоналом в рамках избранной кадровой политики [2]. В результате обособления службы управления персоналом (СУП) и выделения ее в качестве самостоятельного структурного элемента, она получила возможность разносторонней работы в сфере организации труда и управления персоналом. Функции СУП определяют направления ее деятельности. Так как формирование служб управления персоналом на российских предприятиях осуществлялось на основе опыта зарубежных компаний, целесообразно привести совокупность всех функций, которыми они наделены.

Идентификация и выделение различных функций и направлений службы персонала представлены в работах Кибанова А.Я., Маслов Е.В., Виханский О.С., Травин В.В., Дятлов В.А. и др. [1 – 5, 7, 8, 9, 10]. Один из наиболее полных перечней направлений работы службы персонала предложили Одегов Ю.Г. и Журавлев П.В. в работе [6, с. 696 – 697]. Они выделили следующие функции службы персонала.

1. Осуществление прогнозирования, перспективного и текущего планирования потребности в кадрах, их движения, подбора и расстановки.
2. Осуществление систематического анализа состава кадров по профессиональному, общеобразовательному, возрастному и другим признакам.
3. Организация рациональной системы учета кадров и их движения в организации.
4. Осуществление процедуры подбора и расстановки кадров.
5. Формирование и проведение кадровой политики при найме, продвижении, перемещении, вознаграждении и пр.
6. Индивидуальное изучение работников номенклатуры тем руководителям, которому подчинен отдел кадров.
7. Постоянный анализ структуры и состояния кадров, невыходов на работу, аварий, текучести, жалоб и претензий.
8. Организация планомерной оценки (аттестации и пр.) кадров.
9. Разработка мероприятий по повышению квалификации кадров и их

подготовке. Подбор кандидатур для направления на учебу (внутри и вне фирмы).

10. Формирование кадрового резерва и работа с ним.

11. Контроль и координация кадровой работы во всей организации. Проведение консультаций по работе с кадрами.

12. Систематический анализ структуры аппарата управления, выработка рекомендаций по улучшению организационных структур.

13. Составление учебно-информационных пособий по программам подготовки специалистов, справочников для служащих по организационно-должностным структурам и пр.

14. Организация медицинского обслуживания, пожарной и прочей охраны служебных зданий, организация работы приемных и пр.

15. Организация социального обеспечения персонала (страхований и пенсий).

16. Осуществление расчета и выдачи заработной платы сотрудникам и контроль за этой функцией.

17. Проведение конкурсов на вакантные места.

18. Организация процесса адаптации новых работников.

19. Тарификация рабочих мест.

20. Оценка уровня безопасности, комфортабельности и условий труда.

21. Выработка правил оценки результатов труда.

22. Определение условий социального обеспечения.

23. Установление компенсаций и льгот.

24. Контроль затрат на персонал.

25. Содействие улучшению психологического климата в коллективах.

26. Управление трудовыми отношениями.

27. Документирование работы с кадрами. Обработка, выдача и хранение соответствующих документов. Подготовка отчетов.

Проведенный обзор зарубежного опыта организации работы СУП и отечественных наработок позволил выделить направления деятельности при управлении персоналом для составления «Матрицы взаимного пересечения (включения) направлений деятельности служб персонала» (рисунок 1). Построение данной матрицы дает представление о взаимосвязи, взаимозависимости и взаимовлиянии каждого из обозначенных направлений, а также указывает на состав и содержание того или иного направления деятельности. Формирование данной матрицы раскрывает содержание работы службы управления персоналом, а обозначенная в этой матрице совокупность направлений деятельности позволяет наглядно ее представить.

Проведенные исследования уже функционирующих кадровых служб свидетельствуют о рассеянности и разобщенности обязанностей линейных руководителей и специалистов в области управления человеческими ресурсами, а распределение функций по управлению персоналом осуществляется без учета границ профессиональных компетенций руководителей. Поэтому часть работы, которая должна выполняться специализированной службой,

либо вообще не выполняется, либо выполняется в неполном объеме и несоответствующего качества.

Направления деятельности		Планирование	Набор	Отбор	Найм	Правовое и информационное обеспечение	Оценка и аттестация	Профориентация и адаптация	Обучение и развитие	Мотивация и стимулирование (оплата труда, вознаграждения, компенсации и льготы)	Управление корпоративной культурой	Управление карьерой, управление кадровым резервом	Оценка эффективности
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Планирование	<b>1</b>	+				+							+
Набор	<b>2</b>	+	+			+	+	+		+	+		+
Отбор	<b>3</b>			+		+	+		+	+	+	+	+
Найм	<b>4</b>		+	+	+	+							+
Правовое и информационное обеспечение	<b>5</b>					+							+
Оценка и аттестация	<b>6</b>	+				+	+		+			+	+
Профориентация и адаптация	<b>7</b>	+			+	+	+	+			+	+	+
Обучение и развитие	<b>8</b>	+		+		+	+	+	+	+		+	+
Мотивация и стимулирование (оплата труда, вознаграждения, компенсации и льготы)	<b>9</b>	+				+	+			+		+	+
Управление корпоративной культурой	<b>10</b>	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+
Управление карьерой, управление кадровым резервом	<b>11</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Оценка эффективности	<b>12</b>					+							+

Рисунок 1 – Матрицы взаимного пересечения (включения) направлений деятельности служб персонала

Второе связано с исполнителями, не имеющими достаточного уровня подготовки и необходимых знаний, что ведет к снижению эффективности кадровых служб, и, как следствие, – к снижению эффективности деятельности всего предприятия.

На основании вышеперечисленного можно утверждать что данная матрица может широко применяться и способствовать организации системы

управления персоналом и взаимосвязанных с ней систем на более высоком уровне. Помимо этого она может являться своеобразной картой, позволяющей сориентировать студентов всех специальностей и направлений, прямо или косвенно относящихся к вопросам управления трудовыми ресурсами, при их теоретической подготовке.

Обозначенные в матрице столбцы под номерами 5 и 12 – «правовое и информационное обеспечение» и «оценка эффективности» соответственно являются сквозными, то есть включаются во все направления деятельности службы управления персоналом. Это объясняется тем, что в независимости от характера проводимых мероприятий и процедур в отношении персонала, требуется обязательное письменное подтверждение их реализации и уже на основании этого – внесение их в информационную систему. Таким образом сформированная база данных позволяет оперативно получить достоверную информацию, обеспечивающую функционирование не только данной системы, но и других, смежных с ней систем. Оценка эффективности должна осуществляться непрерывно и способствовать мониторингу внутренних процессов кадровой службы для ликвидации возникающих отклонений и отрицательных тенденций. Здесь оценке подвергается не объект управления, а субъект управления и принимаемые им решения.

Важно отметить строки 3 – «отбор», 8 – «обучение и развитие», 10 – «управление корпоративной культурой», так как они включают наибольшее количество значимых направлений деятельности. Концентрация внимания на этих направлениях позволит скомплектовать штат сотрудников, состоящий из высококвалифицированных и перспективных работников, соответствующих внутренней культуре организации, повысить уровень их профессионализма и сформировать команду единомышленников, реализующих цели предприятия.

«Управление кадровым резервом», в отличие от других направлений, указанных в строках, включают в себя все направления, указанные в столбцах матрицы. Создание кадрового резерва дает множество преимуществ, таких как: лояльность работников к предприятию, преемственность знаний, навыков, основ взаимоотношений и другое. При таком количестве положительных сторон вопрос управления кадровым резервом становится актуальным для значительного количества отечественных предприятий. Те из них, которые в большей степени ориентированы на долгосрочное существование, достижение поставленных целей, в том числе за счет многосторонней работы с трудовыми ресурсами в рамках избранной ими политики в области управления персоналом, усиливают деятельность кадровых служб в данном направлении. Подбор кандидатов на замещение руководителей является залогом высокоэффективной деятельности отдельных систем и всего предприятия в целом.

Итогом проведенной работы является установление того, что деятельность службы управления персоналом не должна ограничиваться подбором, наймом, увольнением, расчетом заработной платой и частью вопросов соци-

альной поддержки, а должна быть разнонаправленной и сконцентрированной именно в этом структурном подразделении в сочетании с тесным взаимодействием с линейными руководителями организации.

Эффективность работы службы персонала зависит от особенностей построения ее структуры, взаимосвязи с другими подразделениями, квалификации работающего в них персонала, от степени организованности коммуникационных связей между отделами и службами, а также от качества кадровой политики организации. Служба управления персоналом, действующая во всех обозначенных ранее направлениях, способна обеспечить предприятию эффективное функционирование. Выделение и обособление каждого из направлений деятельности кадровой службы позволяет наилучшим образом организовать ее работу. Это дает возможность распределить и закрепить функции за соответствующими отделами и специалистами по управлению персоналом, и, следовательно, реализовать системный подход к работе с трудовыми ресурсами, что является одним из основных инструментов достижения стратегических целей организации и укрепления своих конкурентных преимуществ.

#### Библиографический список

1. Кибанов А.Я. Основы управления персоналом: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 447 с. – (Высшее образование).
2. Маслов Е.В. Управление персоналом предприятия: Учебное пособие / Под ред. П.В. Шементова. – М.: ИНФРА-М; Новосибирск; НГАЭиУ, 1999. – 312 с.
3. Управление персоналом: Учебник для вузов / Под ред. Т.Ю. Базарова, Б.Л. Еремина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ, 2002. – 560 с.
4. Виханский О.С. Стратегическое управление: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 1998. – 296 с.
5. Травин В.В., Дятлов В.А. Основы кадрового менеджмента. – 2-е изд. – М.: Дело, 1997. – 336 с.
6. Одегов Ю.Г., Журавлев П.В. Управление персоналом: Учебник для вузов. – М.: Финстатинформ, 1997. – 878 с.
7. Организация работы службы персонала: методическое пособие. Приложение к журналу «Справочник по управлению персоналом» 2006, № 4. / Володина Н., Милованова Ю.
8. Шапиро С.А. Управление человеческими ресурсами / С. А. Шапиро. – М.: ГроссМедиа, 2005. – 304 с. – (Справочник руководителя).
9. Одегов Ю.Г., Карташова Л.В. Управление персоналом, оценка эффективности. Учебное пособие для вузов. / Ю.Г. Одегов, Л.В. Карташова. – М.: Издательство «Экзамен», 2002. – 256 с.
10. Мордовии С.К. Управление персоналом: современная российская практика. 2-е изд. – С-Пб.: Питер, 2005. – 304 с: ил. – (Серия «Практика менеджмента»).

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАТИВНОГО ВРЕМЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ВАКАНСИИ

Фокин К.Б.

*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»  
г. Новокузнецк*

В условиях ужесточения управленческого учета по всем направлениям работы в современных российских предприятиях собственники и менеджмент многих компании обращаются к вопросу оценки результата работы службы управления персоналом. При этом задача руководителя службы персонала не только влиять на результаты работы компании в нужном направлении, но и с цифрами в руках регулярно показывать эффект от работы возглавляемого им подразделения. На Всероссийских HR-форумах и саммитах HR-директоров по персоналу, прошедших в 2005 – 2007 гг., вопросу оценки деятельности служб управления персоналом было уделено основное внимание, что обусловлено усилением значимости HR-службы в компаниях и увеличением бюджетов этого подразделения. В настоящее время одной из основных проблем оценки результата работы службы управления персоналом является определение критериев и количественных показателей оценки. На данный момент не существует общепринятых универсальных показателей оценки службы управления персоналом, которые с незначительными корректировками допустимо использовать в любых организациях.

Для измерения эффективности управления персоналом существуют десятки показателей [2]: различные показатели стоимости, времени, качества или удовлетворенности внешних и внутренних клиентов. Оценка обычно производится путем сравнения показателей в начале и конце отчетного периода. Не менее важно иметь возможность сравнить свои показатели с подобными показателями других компаний. Для того чтобы судить, насколько система управления персоналом эффективна, необходимо выработать методику оценки, позволяющую определить действительную ситуацию в организации в области управления персоналом, выявить слабые места и дать рекомендации для ее улучшения. Проблемы оценки эффективности управления персоналом исследовал Кибанов А.Я., Иванцевич Д. М., Лобанов А.А., Шекшня СВ., Одегов Ю.Г., Джек Филипс, ДейвУльрих, Роберт Каплан, Дэвид Нортон и др.

В работе Толстой Н. [2] приведена ретроспектива методов оценки эффективности HR на различных стадиях развития компании. Наиболее известные из этих методов: Внутренние обзоры, Репутация HR, Human Resources Accounting, HR-аудит, HR case studies, Ключевые показатели деятельности, Управление по целям, HR как центр прибыли, ROI Methodology.

Одним из главных направлений работы HR-службы является подбор

персонала, т.к. от своевременности и качества работы по подбору и найму персонала зависит эффективность работы любой организационной единицы и использование остальных ресурсов организации. Этим обусловлено проведение постоянного совершенствования управления процессом подбора персонала. Важнейшей предпосылкой, определяющей эффективность работы по поиску и отбору кадров, является тесная связь этого направления деятельности с действующей в организации системой управления. Для оценки эффективности подбора, поиска и отбора новых работников в теоретической литературе и практических примерах работы HR-служб современных компаний предлагаются к использованию такие количественные показатели, как отношение числа откликнувшихся на объявление о вакансии к числу получивших приглашение на участие в конкурсе на неё; отношение количества получивших приглашение к количеству принятых на работу; отношение числа принятых к числу оставшихся на работе через количество времени, удовлетворяющее руководство из общего числа принятых на работу; отношение стоимости приема и отбора к числу приступивших к работе; число заполненных вакансий за счет собственных работников; выполнение планов набора персонала; показатель соотношения роста затрат на поиск и подбор к росту прибыли; общий показатель текучести кадров; показатель текучести кадров среди сотрудников, проработавших в компании 1 месяц/полгода/1 год; финансовые затраты на обеспечение процесса подбора; средние затраты времени (денежных средств) на одного принятого работника в год, на подбор (отбор) одного кандидата, на размещение рекламы о вакансиях и контакты с внешними (внутренними) источниками набора; на адаптацию вновь принятых работников; процент сотрудников, прошедших испытательный срок.

Проведение исследований показателей оценки выполнения функции подбора персонала показало, что «время» или «скорость» заполнения вакансии является одним из основных показателей при оценке эффективности рассматриваемого направления работы HR-службы. Анализ теоретической литературы и практического опыта работы современных российских и зарубежных компаний выявил отсутствие готовых универсальных методических подходов к определению нормативного времени подбора персонала на определенную вакансию. В связи с этим возникает вопрос определения количественного значения нормативного времени заполнения вакансии, что обусловлено не только необходимостью своевременной реакции на запросы подразделений-потребителей персонала, но и адекватной информацией для руководства службы при оценке деятельности рекрутеров.

В качестве основных временных этапов заполнения вакансии можно выделить время поиска кандидата, время на проведение отборочных процедур и время оформления кандидата на вакантную должность. Два последних этапа стандартизируются путем проведения хронометража или фотографии рабочего дня. Затем составляется таблица затрат времени на проведение этих операций в зависимости от уровня должности вакансии, требований подразделения заказчика, особенностей оформления документации применительно

к конкретной должности.

Наибольший интерес для исследования представляет время поиска кандидата, начинающееся момента образования вакансии или указания о необходимости подбора определенного кандидата со стороны руководства службы и заканчивающееся принятием предложения о работе кандидатом и его согласием участвовать в отборочных процедурах.

Дифференцированный подход к определению времени заполнения вакансии обусловлен индивидуальностью каждой группы должностей. На своевременность заполнения вакансии влияют следующие критерии: уровень заработной платы рассматриваемой должности; уровень средней заработной платы по рынку труда города (региона) для подобной (равнозначной) вакансии; насыщенность рынка труда кандидатами данной категории (предложение на рынке); инструментарий службы подбора персонала при привлечении кандидатов; социальный пакет, предлагаемый в компании; имидж компании как работодателя на рынке труда города и региона. Последний критерий – величина важная, но достаточно условная. Изначально существует значительная погрешность при её определении. По нашему мнению, имидж компании применительно к данной работе можно характеризовать наличием обращений кандидатов на трудоустройство без целенаправленного использования службой персонала информации о наличии вакансий, т.е. для привлечения кандидатов рекрутеры данной компании не задействуют никакие ресурсы (обращения кандидатов, направленных службой занятости персонала, также не учитываются). Положительный имидж компании как работодателя является фактором, увеличивающим количество обращений в службу подбора персонала, и, как следствие, сокращает время заполнения вакансий в данной компании.

При определении влияния социального пакета необходимо учитывать индивидуальные особенности его формирования в каждой из компаний. Как правило, для различных уровней должностей соц. пакеты дифференцированы, поэтому погрешность его количественного расчета в рамках данной работы закладывается в понятие «базовое время поиска кандидата», определяемое на основе экспертных данных или из опыта подбора на подобную вакансию или группу вакансий.

Влияние рассмотренных критериев на время заполнения вакансии можно представить в виде зависимости:

$$T_{ЗВ} = T_{БЗВ} \times \frac{1,23П_{РЫН}}{ЗП_{ВАК}} \times K_{ПРЕД} \times K_{ИК} \times K_{ИМ}, \quad (1)$$

где  $T_{ЗВ}$  – время поиска кандидата;

$T_{БЗВ}$  – базовое время поиска кандидата, определяемое на основе экспертных данных или из опыта подбора на подобную вакансию, дней;

$ЗП_{РЫН}$  – средняя заработная плата по рынку труда города (региона) для подобной (равнозначной) вакансии в момент поиска, руб.;

$ЗП_{ВАК}$  – заработная плата, предлагаемая для данной вакансии на предприятии, руб.;

1,2 – коэффициент, отражающий минимально необходимое увеличение заработной платы, способствующее принятию решения о смене работы (при прочих равных условиях) кандидатом, трудоустроенным в другой компании;

$K_{ПРЕД}$  – коэффициент, учитывающий количество предложений кандидатов на рынке труда города (региона) для подобной (равнозначной) вакансии в момент поиска (таблица 1);

$K_{ИК}$  – коэффициент, учитывающий количество информационных каналов, которые использует служба подбора персонала при поиске кандидатов на определенную вакансию (таблица 2);

$K_{ИМ}$  – коэффициент, учитывающий наличие имиджа компании как работодателя, через текущее количество самостоятельных обращений кандидатов на трудоустройство без целенаправленного распространения (не задействованы какие-либо ресурсы) службой подбора персонала информации о наличии вакансий (таблица 3).

Таблица 1 – Зависимость коэффициента  $K_{ПРЕД}$  от количества информационных каналов

Количество кандидатов на рынке труда на данную вакансию	0*	1	2	3	4	5	6	7	8	10 и более
$K_{ПРЕД}$	10	1,0	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
* При отсутствии кандидатов на рынке труда на данную вакансию $K_{ПРЕД}$ стремится к бесконечности, но в нашей работе данный коэффициент принимаем равным 10.										

Таблица 2 – Зависимость коэффициента  $K_{ИК}$  от количества информационных каналов

Количество информационных каналов*	0**	1	2	3	4	5	7	10 и более
$K_{ИК}$	5	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,1
* В данной работе не учитывается различная степень результативности отдельно взятого информационного канала, так как обычно рекрутеры имеют представление, какой из каналов наиболее результативен и увеличивают количество данных каналов на основе их рейтинга.								
** В случае, если рекрутеры не используют информационные каналы, то $K_{ИК}$ принимается равным 5.								

Если на рынке труда города (региона) отсутствуют предложения по определенным специальностям, то рассматривается уровень заработной платы аналогичных специальностей или смежных отраслей.

Приведенные значения  $K_{ИМ}$  актуальны для компаний среднемесячное

количество вакансий в которых не превышает 20.

Таблица 3 – Значения коэффициента  $K_{ИМ}$  в зависимости от количества обратившихся кандидатов на трудоустройство

Количество обратившихся кандидатов, человек/месяц*	0*	1	2	3	4	10 и более
$K_{ИМ}$	10	1,0	0,9	0,8	0,75	0,5
* Учитываются кандидаты, обратившиеся самостоятельно с целью поиска работы при отсутствии использования службой подбора персонала каких-либо ресурсов для информирования о наличии вакансий, без учета кандидатов, направленных службой занятости.						

На основе приведенной зависимости (1) можно сделать вывод, что время заполнения вакансии можно оптимизировать до «базового», если: образовавшаяся вакансия имеет конкурентный по отношению к рынку уровень оплаты труда, компания имеет положительный имидж как работодатель, а служба подбора персонала использует много информационных каналов для информирования о вакансиях. Перспективными направлениями развития данной разработки являются:

– составление базы данных, позволяющей корректно определить «базовое время заполнения вакансии»;

– проведение более глубоких исследований по оценке влияния социального пакета, предлагаемого в компании, и имиджа компании на время заполнения вакансии в зависимости от величины социального пакета, предлагаемого другими работодателями.

Определение времени заполнения вакансии особенно актуально при взаимодействиях с агентствами по подбору персонала и, как следствие, при определении переменной части заработной платы в самих агентствах.

Показатели оценки эффективности службы персонала при реализации функции подбора, отражая целевую направленность деятельности по управлению персоналом, позволят интегрировать количественную оценку подбора персонала в общий бизнес-процесс оценки HR-службы и выстроить взаимодействие между службой подбора и высшим менеджментом. Количественная оценка рассматриваемого показателя позволяет сделать прозрачной систему премирования специалистов службы подбора персонала, что не только улучшает мотивацию данных работников за основные результаты деятельности, но и повышает эффективность всей работы по управлению персоналом в целом.

#### Библиографический список

1. Татулов Б.Э. Проблемы оценки эффективности управления персоналом /[http://www.cfin.rU/bandurin/article/sbrnO5/2l.shtml#1\\_2#1\\_2](http://www.cfin.rU/bandurin/article/sbrnO5/2l.shtml#1_2#1_2)
2. Толстая Н. Измеряем HR-эффективность / КАДРОВИК.РУ – журнал, кадровый портал, article&sid=6131.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ ОТБОРА УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ**

Фокин К.Б., Левкина О.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Современный рынок образовательных услуг, представляемый множеством компаний провайдеров и учебных центров, достаточно емкий и многообразный. Причиной этому являются процессы развития современной российской экономики, которые требуют постоянного прироста знаний и наличия необходимых квалификаций у персонала предприятий и организаций всех форм собственности для создания и поддержания видимых конкурентных преимуществ. Очень быстро изменяются как внешние условия (экономическая политика государства, законодательство и т.п.), так и внутренние условия организаций, что вынуждает большинство компаний готовить персонал не только к сегодняшним, но и к завтрашним условиям функционирования [1; 7]. Несмотря на ощутимую потребность в обучающих мероприятиях, предложения образовательных учреждений различных видов обучения в значительной мере превышают спрос на них. В сложившихся условиях возникает необходимость создания инструмента, позволяющего службе персонала производить выбор оптимального учебного центра не только наиболее полно отвечающего интересам организации заказчика, но и позволяющего оптимизировать затраты на обучение без потери его качественных характеристик. Особенно актуальной рассматриваемая проблема становится при наличии тенденции вывода учебной функции в аутсорсинг, что практикуется многими современными компаниями для снижения операционных расходов. В работе авторов [2; 180] указывается на необходимость проведения мониторинга рынка образовательных услуг, учитывая при этом: соотношение цены и качества различных программ обучения, определение спроса других организаций на выбранную программу. Это позволяет управлять затратами на подготовку персонала, а также корректировать бюджеты в зависимости от состояния рынка образовательных услуг.

Авторы [3] на основании проведенных исследований, показывают, что российские образовательные компании в основном индивидуально подходят к каждому клиенту: подстраивают под него готовые программы, быстро реагируют на любые изменения, возникающие в ходе сотрудничества. Однако, по их мнению, не все специалисты российских обучающих фирм добросовестны и высокопрофессиональны.

По мнению авторов, *отбор учреждений РФ, предоставляющих образовательные услуги*, – это процесс подбора оптимального соотношения качеств-

ва и цены оказываемой услуги по проведению обучающих мероприятий, к которой суммируется стоимость затрат организации заказчика на командировочные расходы, проезд и проживание работника. Для совершенствования процесса выбора оптимального образовательного учреждения разработана система критериев отбора учебных центров для подготовки персонала. Целью создания системы является улучшение качества организации и проведения работ по отбору образовательных учреждений для обучения (подготовка, переподготовка, повышение квалификации, аттестация, переаттестация) работников. Система состоит из критериев отбора Учреждений РФ, предоставляющих образовательные услуги, и регламента работы с заявками на подготовку работников от служб персонала предприятий и организаций – заказчиков на повышение квалификации кадров.

Рейтинг и процесс отбора учебных центров составляются на основании совокупности критериев, соответствующих определенному уровню. Критерии и параметры, соответствующие низшему и высшему уровню, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии оценки образовательного учреждения повышения квалификации

Критерии отбора	Параметр оценки	
	Низший уровень	Высший уровень
Стоимость чел./час*	Стоимость более 600 рублей/час	Стоимость менее 200 рублей/час
Командировочные расходы	Расходы более 60000 рублей	Расходы менее 25000 рублей
Наличие учредительных документов Учреждений РФ	Отсутствуют	Свидетельство о постановке на учет в налоговом органе, нотариально заверенная копия документа, подтверждающего полномочия на заключения сделок, Лицензия Министерства образования, копия Учредительного договора, Свидетельство о внесении в Единый государственный реестр, Устав организации
Стаж работы на рынке образовательных услуг	мене 1 года	более 10 лет
Наличие рекомендаций, известность	Незначительное количество рекомендаций и отзывов, представленных в устной форме и в анкетах слушателей	Большое количество рекомендаций, встречающихся в специализированных СМИ: каталоги и проспекты образовательных услуг, на сайтах Учреждений РФ, рекомендации и отзывы, представленные в устной форме и в анкетах слушателей

Продолжение таблицы 1

Критерии отбора	Параметр оценки	
	Низший уровень	Высший уровень
Наличие рекламы	Реклама отсутствует	Рекламная информация размещается на сайтах Учреждений РФ, рассылается по почте в виде каталогов образовательных программ и буклетов, размещается в СМИ, организуются презентации и бесплатные семинары
Наличие документов, подтверждающих прохождение обучения работника	Справка	Удостоверение государственного образца
Материально-техническая база	Собственной нет: аренда помещений для проведения обучения; отсутствие технических средств обучения (компьютеры, проекторы и т.д.)	Хорошо развита: собственные помещения для проведения обучения, учебные материалы содержатся на CD-дисках, в виде рабочих тетрадей и буклетов, выдаются с собой после окончания обучения как раздаточный материал, наличие технических средств обучения, возможность проведения занятий в on-line режиме
Удовлетворенность качеством знаний со стороны обучающихся после окончания обучения**	Менее 50 %	100 %
Отзывы руководителей и работников организаций о работе центров	Отсутствуют	Положительные отзывы об обучении, предоставленные руководителями, работниками и/или организацией, прошедшими обучение в Учреждениях РФ
* в ценах на 01.06.2008.		
** по результатам анкетирования работников, прошедших обучение.		

Всего выделено 4 уровня параметров оценки. Для каждого уровня разработана балльная шкала, позволяющая количественно оценивать в баллах каждый критерий на основе определенных параметров оценки.

Кроме вышеприведенных критериев в базу данных образовательных

учреждений вносятся следующие сведения: название учебного центра, тема обучения, срок обучения, стоимость обучения, а также указываются командировочные расходы на одного работника при обучении в конкретном учебном центре.

Заключение договоров на подготовку персонала производится с учебным центром, набравшим наибольшее количество баллов по представленным критериям.

Актуализация базы данных осуществляется ежемесячно по результатам маркетинговых исследований. Результаты оценки учебных центров доступны для просмотра специалистам службы персонала, которые осуществляют выбор обучения для работников соответствующих подразделений. Это позволяет принимать решение о выборе Учреждений Российской Федерации, предоставляющих образовательные услуги на основе многофакторного анализа обобщенной систематизированной информации.

Для изучения оценки удовлетворенности качеством обучения со стороны обучающихся используется метод анкетирования. Вариант анкеты представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Анкета оценки удовлетворенности слушателей

1. Насколько излагаемый учебный материал соответствует программе курса?				
Учебный материал полностью не соответствует учебной программе курса	Большая часть учебного материала не соответствует учебной программе курса	Часть учебного материала соответствует учебной программе курса	Большая часть учебного материала соответствует учебной программе курса	Изолагаемый учебный материал полностью соответствует учебной программе курса
2. Достаточно ли практических примеров для полноты излагаемого материала?				
Практические примеры не приводятся	Примеров очень мало и они не соответствуют содержанию профессиональной деятельности	Достаточно, но они не соответствуют содержанию профессиональной деятельности	Недостаточно, но они соответствуют содержанию профессиональной деятельности	Достаточно, и они соответствуют содержанию профессиональной деятельности

Продолжение таблицы 2

3. Применяются ли графические средства наглядности, т. е. таблицы, схемы, графики и т.п. для улучшения восприятия, понимания и усвоения сложного учебного материала?				
Нет наглядных средств	Наглядных средств мало, заметен их недостаток	Наглядные средства есть, но не используются (не работают) во время занятий	Недостаточно количество наглядных средств	Наглядные пособия используются в достаточном количестве
4. Насколько доступно и последовательно излагается учебный материал?				
Не соблюдается последовательность в изложении материала (от простого к сложному), не учитывается уровень базовых знаний слушателей	Неясное, путаное объяснение материала	Материал изложен непоследовательно, сложен для восприятия	Материал излагается понятно, ясно	Учебный материал излагается логично и последовательно, учитывается уровень знаний слушателей
5. Насколько содержание учебной программы соответствует Вашим профессиональным потребностям?				
Не соответствует	Мало соответствует	В значительной степени	Соответствует полностью	
6. Какие темы обучения, на Ваш взгляд, можно исключить из программы?				
7. Была ли изученная информация для Вас новой?				
Да		Нет		
8. Удовлетворены ли Вы условиями обучения?				
Да		Нет		
9. Удовлетворены ли Вы формированием группы для обучения?				
Да		Нет		

Таким образом, создание системы критериев оценки учебных центров, а также четкое описание, соответствующее определенному уровню развития параметров оценки, способствуют оптимизации процесса выбора образовательного учреждения, что в конечном итоге приведет к улучшению качества подготовки персонала предприятий-заказчиков образовательных услуг.

Библиографический список

1. Магура М.И., Курбатова М.Б. Организация обучения персонала организации. – М.: ЗАО «Бизнес-школа Интел-Синтез», 2002. – 192 с.
2. Минченкова О.Ю. Управление персоналом: система бюджетирования: учебное пособие / О.Ю. Минченкова, Н.В. Фёдорова. – М.: КНОРУС,

2006. – 224 с.

3. Васильева Н.В., Палиев А.А. Как выбрать обучающую компанию [Электронный ресурс]. – Портал технологии корпоративного управления / Н.В. Васильева, А.А. Палиев. Режим доступа [http:// www.iteam.ru/ publications/ human/section 67/article 3562/](http://www.iteam.ru/publications/human/section%2067/article%203562/)

УДК 331

## **ОБ УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЛИНГА**

ЮГОВ А.А., ХАМОНТОВА Н.В.

*Сибирский индустриальный государственный университет,  
ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,  
НОУ «РЦПП» Евраз-Сибирь»  
г. Новокузнецк*

Контроллинг это: концепция системного управления предприятием, в основе которой лежит стремление обеспечить долгосрочное эффективное существование бизнеса [1]; система управления процессом достижения конечных целей и результатов деятельности предприятия [2].

Одной из главных причин возникновения и внедрения концепции контроллинга стала необходимость в системной интеграции различных аспектов управления бизнес-процессами в организационной системе.

Функции контроллинга определяются поставленными перед предприятием целями и включают те виды управленческой деятельности, которые обеспечивают достижение этих целей. Сюда относятся: учет, поддержка процесса планирования, контроль за реализацией планов, оценка протекающих процессов, выявление отклонений, их причин и выработка рекомендаций для руководства по устранению причин, вызвавших эти отклонения.

Необходимость применения на современных предприятиях системы контроллинга объясняется следующими основными причинами [3]:

- повышение нестабильности внешней среды;
- смещение акцента с контроля прошлого и текущего состояния на анализ будущего;
- необходимость роста скорости реакции на изменения внешней среды и повышения гибкости предприятия;
- необходимость создания продуманной системы действий по обеспечению выживаемости предприятия и избежанию кризисных ситуаций;
- необходимость координации действий внутри сложной системы управления.

Использование технологий контроллинга при управлении персоналом на промышленных предприятиях вызвано необходимостью принимать опе-

ративные и стратегические решения в сложных социально-экономических и медико-демографических условиях. В таких условиях на рынке труда наблюдается дефицит трудовых ресурсов, и главной задачей для промышленных предприятий становится поиск и удержание персонала.

В настоящее время принято различать открытый (внешний по отношению к предприятию) и внутренний (закрытый) рынки труда, которые тесно взаимосвязаны. Каждый из них имеет свою совокупность показателей, количественно-качественных параметров [4]. В таблице 1 представлены основные показатели, характеризующие состояние внутреннего рынка труда предприятия. В таблице 2 представлены факторы и показатели, определяющие предложения рабочей силы на внешнем рынке труда. В таблице 3 представлены факторы и показатели, влияющие на спрос рабочей силы на рынке труда.

Схема контроллинга при управлении персоналом на промышленных предприятиях представляет собой последовательность шагов представленную в таблице 4.

Таблица 1 – Основные показатели, характеризующие состояние внутреннего рынка труда предприятия

Группы показатели	Наименование показателей
Показатели численности и движения персонала	– среднесписочная численность; – количество принятого персонала; – количество уволенного персонала; – количество открытых вакансий
Показатели качества персонала	– возраст, стаж, образование (работающего, принятого и уволенного персонала)
Параметрические показатели	– коэффициент текучести кадров; – коэффициент текучести кадров по профессиям; – коэффициент выбытия кадров; – коэффициент приема кадров; – коэффициент оборачиваемости кадров
Планируемые	– среднесписочная численность
Показатели заработной платы	– средняя зарплата по предприятию; – средняя зарплата по профессиям; – рост (прирост) зарплаты.

Работая с рынками труда (внутренним и внешним), для принятия обоснованных и своевременных решений необходимо располагать достоверной, обстоятельной и своевременной первичной информацией. Для этого следует обеспечить информационную поддержку технологий контроллинга.

Таблица 2 – Факторы и показатели, определяющие предложения рабочей силы на внешнем рынке

Факторы	Показатели
Демографические	<ul style="list-style-type: none"> <li>– численность трудоспособного населения;</li> <li>– структура трудоспособного населения по полу;</li> <li>– структура трудоспособного населения по возрасту;</li> <li>– структура трудоспособного населения по уровню образования;</li> <li>– миграция рабочей силы.</li> </ul>
Медико-демографические	<ul style="list-style-type: none"> <li>– численность трудоспособного населения с заболеваниями (наркомания, токсикомания, алкоголизм, психологические расстройства, активный туберкулез).</li> </ul>
Экономические	<ul style="list-style-type: none"> <li>– увеличение (сокращение) объемов производства;</li> <li>– создание новых рабочих мест;</li> <li>– остановка или ликвидация предприятий и учреждений;</li> <li>– уровень заработной платы;</li> <li>– объем инвестиций в экономические секторы.</li> </ul>
Социально-экономические	<ul style="list-style-type: none"> <li>– текучесть кадров;</li> <li>– изменения в условиях труда и уровне оплаты;</li> <li>– уровень лояльности персонала.</li> </ul>
Уровень потенциальных ресурсов муниципальной образования (МО)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– численность молодежи, завершившей общеобразовательную и профессиональную подготовку;</li> <li>– численность увольняемых в запас с действительной службы в армии;</li> <li>– численность временно неработающих (женщин с малолетними детьми, лиц, ухаживающих за престарелыми и т.п.);</li> <li>– численность лиц, вернувшихся из мест лишения свободы;</li> <li>– численность лиц, длительно неработающих.</li> </ul>
Уровень безработицы МО	<ul style="list-style-type: none"> <li>– численность занятого персонала;</li> <li>– численность общего уровня безработицы;</li> <li>– продолжительности безработицы;</li> <li>– уровень безработицы среди молодежи;</li> <li>– численность лиц, утративших статус безработного.</li> </ul>

Информационные системы управления являются компьютерной поддержкой контроллинга, который в свою очередь является основным поставщиком данных для управления предприятием [5]. Цель информационной поддержки контроллинга при управлении персоналом на крупном промышленном предприятии – обеспечить руководителей информацией о текущем состоянии дел предприятия и спрогнозировать последствия изменений внут-

ренного или внешнего рынка.

Таблица 3 – Факторы и показатели спроса на рабочую силу на рынке труда

Факторы	Показатели
Количество вакантных рабочих мест, в том числе труднозаполняемых	– количество мест неквалифицированного труда; – количество низкооплачиваемых рабочих мест; – количество мест с неблагоприятными условиями труда; – доля социально непрестижной занятости; – доля рабочих мест, отдалённых от места жительства и т.д.
Выбытие из экономических секторов занятого персонала	– численность естественной убыли занятого трудоспособного населения; – численность вышедших на пенсию (в том числе досрочную); – текучесть кадров.
Динамика потребностей в рабочей силе на новые рабочие места и должности	– введение новых рабочих мест за счет организации предприятий и учреждений; – организация новых рабочих мест на действующих производствах.

Таблица 4 – Схема контроллинга при управлении персоналом на промышленных предприятиях

Шаг	Описание шага
Шаг 1	Определение плановых показателей и их параметров.
Шаг 2	Оценивание фактических значений показателей.
Шаг 3	Сравнительный анализ фактических значений показателей с плановыми с целью выявления отклонений. Определение причин и последствий отклонений.
Шаг 4	Выявление взаимосвязей между полученными отклонениями первичных параметров и результирующим значением показателей деятельности.
Шаг 5	Разработка корректирующих воздействий.

Координируя, интегрируя и направляя деятельность всей системы управления предприятием на достижение поставленных целей, контроллинг представляет собой обратную связь в контуре управления за счет выбора организационного, математического и информационного (технического, программного, лингвистического) обеспечения и является синтезом планирования, учета, контроля, экономического анализа, организации информационных потоков и многого другого.

Использование технологий контроллинга при управлении персоналом на промышленных предприятиях позволит осуществлять следующие функ-

ции:

- координация управленческой деятельности для достижения целей предприятия;
- создание и обеспечение функционирования общей информационной системы управления персоналом;
- информационная и консультационная поддержка принятия управленческих решений.

#### Библиографический список

1. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А.М. Карминский, Н.И. Оленев, А.Г. Примаков, С.Г. Фалько. М.: Финансы и статистика, 1998. – 256 с.
2. Манн Р., Майер Э. Контроллинг для начинающих: Пер. с нем. Ю.Г. Жукова / Под ред. В.Б. Ивашкевича. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 1995. – 304 с.
3. Агапцов С.А., Мордвинцев А.И., Фомин П.А., Шаховская Л.С. Индикативное планирование как основа стратегического развития промышленного предприятия. – М.: Высшая школа, 2002.
4. Винокурова М.А., Горелова Н.А. Экономика труда. Спб.: Питер, 2004. – 656 с. (92-130с.)
5. Карминский А.М., Дементьев А.В., Жевага А.А. Информатизация контроллинга в финансово-промышленной группе // Контроллинг. – 2002. – № 2.
6. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг бизнеса: Реинжиниринг организаций и информационные технологии. М.: Финансы и статистика, 1997. – 336 с.
7. Фатхутдинов Р.А. Стратегический менеджмент: Учебное пособие. М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 1997. – 304 с.

УДК 330.133.2 : 336.132.1

## **СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ БАНКРОТСТВА (НА ПРИМЕРЕ ОАО «ИРКУТ»)**

ГАЛЕВСКИЙ С.Г.

*ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк*

*ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет»  
г. Санкт-Петербург*

Во второй половине XX века основной целью финансового менеджмента была признана максимизация благосостояния собственников, конкретное выражение находящая в увеличении стоимости принадлежащего им бизнеса. Появилось новое, одно из наиболее перспективных на данный мо-

мент направлений финансовой науки – Value-Based Management, т.е. стоимостно-ориентированный менеджмент, или менеджмент, ориентированный (нацеленный) на создание стоимости. В основу этой концепции были положены базовые принципы стоимостной оценки акций, сформулированные в работах Ф. Модильяни и М. Миллера, а также практические аспекты применения их теории, разработанные А. Раппапортом, Д. Стерном и другими авторами.

Сегодня оценка стоимости из трудоемкого и дорогостоящего разового действия превратилась в непрерывный процесс. В соответствии с логикой стоимостно-ориентированного подхода, основываясь на показателях стоимости, происходит как принятие целого ряда управленческих решений в области финансов, так и последующая оценка их эффективности. Анализ инвестиционных проектов, операции на фондовом рынке, мотивация персонала, ассортиментная политика – вот далеко не полный перечень вопросов, решаемых в системе стоимостно-ориентированного менеджмента. Однако оценка вероятности банкротства и по сей день осуществляется, в основном, при помощи традиционных методик, основанных на анализе системы финансовых показателей, скоринговых моделях, анализе безубыточности производства и т.п. В связи с этим представляется целесообразным разработка и внедрение методики прогнозирования банкротства, основанной на принципах стоимостно-ориентированного подхода, что позволит принимать управленческие решения на основе единой системы показателей и сделает систему финансового менеджмента компании более цельной и логичной.

Касательно банкротства, для всякой компании существует два варианта – или компания обанкротится через какое-то время, или будет функционировать «вечно» (в течение продолжительного времени). В случае, если компания функционирует «вечно», то ее стоимость может быть рассчитана как стоимость аннуитета (стоимость А), если же обанкротится, то инвесторы понесут потери, равные сумме дисконтированных денежных потоков, генерируемых компанией до момента банкротства (стоимость В).

При этом оценка стоимости компании методами доходного подхода (например, методом дисконтированных денежных потоков) предполагает учет всех рисков, в том числе и риска банкротства. Таким образом, оцененная стоимость компании может быть представлена в виде разности взвешенных с учетом вероятности банкротства выгод (стоимость А) и потерь (стоимость В):

$$V_e = A \cdot (1 - P) - B \cdot P,$$

где  $V_e$  – оцененная стоимость фирмы;

А – стоимость фирмы в случае «вечного» функционирования;

В – потери в случае банкротства;

Р – вероятность банкротства.

Тогда вероятность банкротства через  $t$  лет может быть рассчитана по формуле:

$$P_t = \frac{(A - V_e)}{(A + B_t)},$$

где  $A = \frac{FC_0}{r}$  ( $FC_0$  – денежный поток, сгенерированный компанией в период (год) оценки;  $r$  – безрисковая ставка доходности);

$V_e = \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+k)^i} + \frac{FC_{n+1}}{(k-g) \cdot (1+k)^{n+1}}$  ( $n$  – продолжительность прогнозного периода;  $FC_i$  – денежный поток, генерируемый компанией в  $i$ -м периоде;  $k$  – ставка дисконтирования;  $g$  – темп роста денежного потока в постпрогнозный период);

$$B_t = \sum_{i=1}^t \frac{FC_i}{(1+k)^i}.$$

Применение данной модели целесообразно в условиях:

- убывающего или растущего медленными темпами денежного потока компании;
- нестабильного денежного потока компании;
- растущих процентных ставок.

Данная модель может быть использована как для оценки вероятности банкротства, так и для расчета значений целевых показателей, обеспечивающих заданный (например, нулевой) риск банкротства.

Рассмотрим данную методику на примере ОАО «Иркут». Для упрощения процедуры оценим вероятность банкротства по ретроспективным данным (2001 – 2008 гг.). В анализируемом периоде компания характеризуется нестабильным денежным потоком, что делает целесообразным применение данной модели.

Для начала необходимо рассчитать денежный поток компании за анализируемый период. По публичным формам отчетности он может быть рассчитан следующим образом:

- чистая прибыль;
- амортизационные отчисления;
- уменьшение собственного капитала;
- увеличение долгосрочной задолженности.

Далее необходимо оценить безрисковую ставку доходности и ставку дисконтирования. Безрисковая ставка представляет собой альтернативную ставку дохода, которая характеризуется практическим отсутствием риска и высокой степенью ликвидности. Безрисковая ставка используется как точка отсчета, к которой привязывается оценка различных видов риска, характеризующих вложения в данную компанию, на основе чего и выстраивается требуемая ставка дохода.

В качестве безрисковой ставки дохода в мировой практике обычно используется ставка дохода по долгосрочным государственным долговым обязательствам (облигациям или векселям) с аналогичным исследуемому проек-

ту горизонтом инвестирования. Для оценки российских компаний в качестве безрисковой может быть принята ставка по вложениям с наименьшим уровнем риска (например, ставка по валютным депозитам в Сбербанке), либо доходность государственных ценных бумаг (например, ОФЗ). За анализируемый период (2001 – 2008 гг.) государственные облигации Российской Федерации показали себя надежным активом, соответственно, в качестве безрисковой ставки примем доходность облигаций федерального займа с соответствующим сроком погашения. Их доходность равна восьми с половиной процентам.

С математической точки зрения ставка дисконта – это процентная ставка, используемая для пересчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости, являющуюся базой для определения рыночной стоимости компании. В экономическом смысле в роли ставки дисконта выступает требуемая инвесторами ставка дохода на вложенный капитал в сопоставимые по уровню риска объекты инвестирования или, другими словами, это требуемая ставка дохода по имеющимся альтернативным вариантам инвестиций с сопоставимым уровнем риска на дату оценки. Вследствие риска, связанного с получением будущих доходов, ставка дисконта должна превышать безрисковую ставку и обеспечивать премии за все виды рисков, сопряженных с инвестированием в оцениваемую компанию.

Расчет ставки дисконта зависит от того, какой тип денежного потока используется в качестве базы для оценки. Для модели денежных потоков для собственного капитала используются, в основном, метод кумулятивного построения, основанный на экспертной оценке премий за риск, связанный с инвестированием в конкретную компанию, и метод оценки ставки дисконта по модели оценки капитальных активов (САРМ), основанный на анализе массивов информации фондового рынка об изменении доходности свободно обращающихся акций.

Модель оценки капитальных активов выведена при целом ряде допущений, основными из которых являются предположение о наличии эффективного рынка капитала совершенной конкуренции инвесторов. Таким образом, использование модели САРМ в современных российских условиях ограничено в силу неразвитости фондового рынка. Хотя информации по обращению акций отдельных компаний достаточно для применения модели, возникает серьезный вопрос о возможности распространения полученных результатов на отрасль в целом. Кроме того, акции оцениваемой компании отличаются низкой ликвидностью, что также затрудняет оценку ставки дисконтирования посредством модели оценки капитальных активов. С учетом этих факторов, представляется целесообразным рассчитать ставку дисконтирования при помощи кумулятивной модели.

При использовании данной модели предполагается, что ставка дисконтирования определяется как сумма безрисковой ставки доходности и ряда премий за учет различных факторов, таких, как:

– фактор ключевой фигуры в руководстве, качество руководства ком-

пании;

- фактор размера компании;
- фактор финансовой структуры (источники финансирования компании);
- фактор товарной территориальной и производственной диверсификации;
- фактор диверсификации потребителей (клиентура);
- фактор качества прибыли, рентабельность и прогнозируемость;
- прочие риски (особенные, отраслевые);

ОАО «Иркут» в анализируемый период представляет собой крупное предприятие, продукция которого хорошо известна как в России, так и за рубежом. Определенное беспокойство вызывает лишь зависимость от крупных заказчиков (незначительная диверсификация потребителей продукции), а также отраслевые риски, традиционно присущие отечественному военно-промышленному комплексу и высокотехнологичному машиностроению. Таким образом, дополнительные риски ОАО «Иркут» относительно невысоки, и премия за специфические риски компании была оценена на уровне трех с половиной процентов. Итого, ставка дисконтирования равна двенадцати процентам.

Определенную трудность представляет собой планирование денежного потока на постпрогнозный период и оценка темпов его роста. В данном случае, в анализируемый период имеет место нестабильный денежный поток, поэтому денежный поток в постпрогнозный период рассчитан как среднее по денежным потокам каждого из анализируемого годов, а темпы его роста признаны нулевыми.

Оценка вероятности банкротства ОАО «Иркут» в 2001 – 2008 гг. представлена в таблице 1. Динамика вероятности банкротства ОАО «Иркут» в 2001 – 2008 гг. представлена на рисунке 1.

Таблица 1 – Оценка вероятности банкротства ОАО «Иркут» в 2001 – 2008 гг.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	post
CF	3276	3623	2757	-2735	4624	-2260	1726	6018	
DCF	3276	3235	2198	-1947	2939	-1282	874	2722	7165
Ve	19181								
A	38543								
B	3276	6511	8710	6763	9702	8419	9294	12016	3276
P	0,463	0,430	0,410	0,427	0,401	0,412	0,405	0,383	

Как видно из таблицы 1 и рисунка 1, в 2001 – 2008 гг. вероятность банкротства ОАО «Иркут», рассчитанная по ретроспективным данным, колебалась в пределах 0,383 – 0,463, что представляет собой средний уровень риска. Таким образом, данная компания в анализируемый период являлась стабильно функционирующим предприятием, которое, несмотря на нестабильный денежный поток (наличие как прибылей, так и убытков), успешно

осуществляло свою деятельность. Также немаловажным является тот факт, что вероятность банкротства в анализируемый период характеризуется понижающимся трендом, и снизилась с 0,463 в 2001 году до 0,383 в 2008, т.е. на 17 процентов. В целом, такая динамика вероятности банкротства при относительно невысоких ее значениях положительно характеризует как финансовый менеджмент компании, так и ее перспективы.

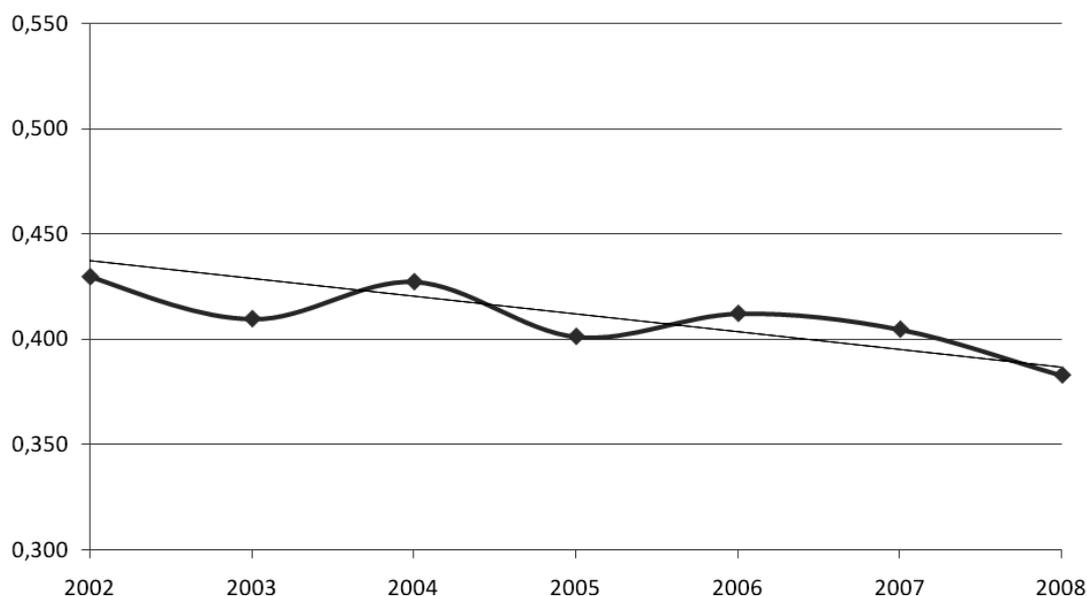


Рисунок 1 – Динамика вероятности банкротства ОАО «Иркут» в 2001 – 2008 гг.

Таким образом, данная методика представляет собой достаточно простой и алгоритмизируемый способ оценки вероятности банкротства компании. При этом она соответствует логике стоимостно-ориентированного подхода, и легко может быть включена в основанную на его принципах систему финансового менеджмента.

УДК 669.1

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Бобко Т.В., Зайнутдинов Х.Ф.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Актуальность проблемы энергетической безопасности для металлургических предприятий повышается с каждым днем.

В международной практике вопросы энергетической безопасности яв-

ляются актуальными уже более ста лет. Наиболее значимым событием, подтверждающим необходимость пристального внимания вопросам энергетической безопасности, является энергетический кризис, разразившийся в 70-е годы прошлого столетия, когда из-за военных действий на Ближнем Востоке арабские страны, входящие в ОПЕК, Сирия и Египет установили в отношении США и некоторых западных стран нефтяное эмбарго. В тех условиях страны ОПЕК подняли цену на нефть в 4 раза. Страны Евросоюза к необходимости серьезного подхода к энергетической безопасности пришли только в 2006 году после кратковременного «газового шока». В июле 2007 года в Санкт-Петербурге прошел саммит G8 посвященный проблеме энергетической безопасности, на котором В.В. Путин определил, что «в основу глобальной энергетической безопасности должны быть заложены принципы долгосрочного, надежного, экологически приемлемого энергоснабжения по обоснованным ценам».

Являясь крупным потребителем топлива – энергетических ресурсов (в дальнейшем ТЭР) металлургическое производство находится в зависимости от обеспеченности энергоресурсами в требуемые сроки, необходимого качества, в полном объеме потребностей и по экономически целесообразным ценам. В противном случае под угрозой может оказаться не только конкурентоспособность металлургической продукции предприятия, но и выживаемость предприятия в целом.

Разразившийся мировой финансовый кризис нарушил платежеспособность предприятий, регионов и стран. Он ускорил падение спроса и цен на металлопродукцию, вызванное до него усилением позиций азиатской металлургии и ростом мировых производственных мощностей.

Основными факторами, способствующими повышению актуализации выделения функции управления энергетической безопасностью в менеджменте металлургических предприятий, являются:

- 1) Набирающий обороты мировой финансовый кризис;
- 2) Снижение конкурентоспособности отечественной металлопродукции в связи с усилением позиций азиатской металлургии и ростом мировых производственных мощностей;
- 3) Снижение спроса и цен на металлопродукцию;
- 4) Старение основных фондов энерго-технологической базы металлургического производства, способное приводить к массовому возникновению аварий, чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф;
- 5) Уменьшение объема инвестиций в экономику предприятий с целью технического и технологического обновления металлургического производства, внедрения энергосберегающих технологий и освоения научно-технических достижений;
- 6) Ухудшение топливной базы, удорожание технологий освоения труднодоступных энергоресурсов;
- 7) Конкурентная борьба за ресурсы;
- 8) Ожидаемое вступление России в ВТО и связываемое с ним повыше-

ние цен на энергоресурсы;

9) Внедрение экологии в экономику – ратификация Киотского протокола и в связи с этим необходимость экологически ответственного использования ТЭР и другие.

Совокупность перечисленных условий и факторов, создающих риски и угрозы для топливо- и энергоснабжения предприятий, представляет опасность для их нормального функционирования, а значит и для их экономически и жизненно важных интересов.

Опасность возникновения чрезвычайных ситуаций, нарушения энергоснабжения или энергопотребления характеризуется видом и масштабами ущерба, наносимого энергетике предприятия, а также возможными экономическими потерями в результате превращения угрозы в реальные ситуации.

В настоящее время ответственность за энергоснабжение и энергосбережение на металлургическом предприятии возложена на главного энергетика. Энергетическая служба в большинстве своем выполняет три из пяти основных функций менеджмента:

1) *Планирование и анализ.* В том числе формирование и анализ отчетов по работе энергохозяйства предприятия, расчет потребности в энергоресурсах как отдельных цехов и производств, так и предприятия в целом; разработка рациональных схем энергетического снабжения; планирование норм расходов энергоресурсов, разработка топливо – энергетических балансов, планирование мероприятий по предупреждению аварий и ЧП и т.п.

2) *Организация.* В том числе организация обслуживания и ремонта энергетического оборудования предприятия; приемка оборудования в эксплуатацию после монтажа и ремонта; внедрение средств автоматизации в управление энергетическим оборудованием и т.п.

3) *Контроль и учет.* В том числе контроль состояния энергетического оборудования предприятия, контроль соблюдения правил техники безопасности и правил эксплуатации энергетического оборудования; учет аварий и чрезвычайных ситуаций в цехах предприятия, учет движения энергетического оборудования и т.п.

Говорить о выполнении четвертой основной функции энергоменеджмента на металлургическом предприятии – *мотивации* достаточно сложно. Это объясняется тем, что, не смотря на большое количество разработанных и принятых к исполнению декларативных документов, энергоемкость отечественной металлопродукции остается в 3 – 4 раза выше энергоемкости производства металлопродукции развитых стран. По оценке экспертов, потенциал энергосбережения в металлургической промышленности страны – от 30 до 45 % всего объема энергопотребления. Такой огромный неиспользованный резерв возможного снижения энергетической составляющей в затратах на производство металлопродукции говорит о том, что до настоящего времени не были задействованы все методы и формы мотивации персонала к энергосбережению.

Выполнением пятой функции – *координацией* деятельности энергослужбы предприятия со структурами внешней и внутренней среды, занимающимися вопросами, относящимися к энергоснабжению, энергоиспользованию и энергосбережению на предприятии не занимается никто. Такая ситуация приводит к снижению энергетической эффективности металлургического производства, снижению надежности энергоснабжения, снижению уровня организации управления энергетическими потоками на предприятии и в целом к снижению конкурентоспособности металлургического производства.

Задача обеспечения энергетической безопасности заключается, с одной стороны, в проведении анализа, наблюдения, мониторинга параметров (показателей) устойчивого функционирования энергетики предприятия и выявления угроз, а с другой – в принятии мер, предотвращающих опасное снижение энергетической устойчивости системы.

Таким образом, управление энергетической безопасностью предприятия поможет его энергетике сохранять устойчивое состояние, противодействовать угрозам нарушения этого состояния, предотвращать кризисные ситуации и восстанавливать стабильное положение.

В целом энергетическая безопасность предприятия предполагает обеспечивать: 1) высокую энергетическую эффективность, 2) финансовую устойчивость, 3) надежность энергоснабжения, 4) конкурентоспособность энерго-технологической базы предприятия; 5) высокий уровень организации управления потоками энергоресурсов на предприятии, 6) выполнение требований экологических стандартов, 7) эффективный механизм правового регулирования энергоснабжающей деятельности предприятия; 8) обеспечение информационной безопасности.

Для предприятий, зависящих от энергетического фактора, энергетическая безопасность является условием обеспечения экономической безопасности, так как сохранение экономической системы в условиях финансового кризиса возможно только ценой мобилизации ее внутренних ресурсов и резервов, в том числе предназначенных для будущего развития.

УДК 658

## **ВЕНЧУРНЫЕ ФОНДЫ – ЭФФЕКТИВНАЯ ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИЙ**

Зайнутдинов Х.Ф.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

В качестве источников финансирования инновационной деятельности помимо собственных (внутренних) средств предприятия могут привлекаться бюджетные ассигнования и коммерческие кредиты. При этом коммерческий

кредит выглядит более привлекательным, однако необходимо отметить, что инновационная деятельность по своей сути является рискованной и в большой степени содержит неопределенность возврата кредита, что невыгодно ни кредитору, ни, в конечном счете, заемщику. Кроме того, практически любой инновационный проект требует привлечения финансовых средств на долгосрочной основе, а в силу ряда объективных причин сегодня практически полностью отсутствуют возможности получения долгосрочных (на 3 – 5 и более лет) кредитов.

В рыночных условиях в России развиваются целевые структуры венчурного бизнеса. Они подготавливают новшества к последующей коммерциализации, образуют конкурентоспособные субъекты, совершенствуют технологии производства и структуры экономики. При выполнении поставленных задач венчур поглощается крупной фирмой или самостоятельно выходит на рынок инноваций. Инновационная система России делает первые шаги в международном сообществе: ее доля на мировом рынке наукоемкой продукции составляет всего 0,8 %, тогда как доля США – 36 %, Япония – 30 %. Для широкого выхода на рынок требуются усиления инновационной деятельности венчурного капитала. Для этого необходимо создать ряд условий развития отечественного венчура:

- создание до 2010 года 1000 до 5000 предприятий, агентств по трансферту технологий с общим числом занятых, около 200 тыс. человек с финансированием из бюджета и финансированием международных организаций за счет построения новой инвестиционной структуры;

- пересмотреть налоговый режим для малого технологического бизнеса;
- реинвестировать доходы от участия государства во всемирных проектах в высокорисковый бизнес.

В России следует развивать и государственные инвестиционные организации в сфере высшего образования, и создавать негосударственные научно-технические и инновационные фирмы.

Основная сфера распространения венчурной деятельности – быстрорастущие наукоемкие отрасли, такие как электроника, робототехника, лазерная технология, программное обеспечение.

Венчурный капитал обычно представлен как фонд с вложением средств крупных компаний, коммерческих банков, страховых обществ, пенсионных фондов и частных лиц с высоким риском. Средства представляются безвозвратно и без процентов и не подлежат изъятию до конца срока действия договора. Величина прибыли зависит от степени риска: чем выше риск, тем выше доходы инвесторов. В США высокий уровень развития рискованных доходов. В настоящее время действует свыше 600 независимых фондов, осуществляющих венчурное финансирование и предоставляющих малым предприятиям 4 – 4,5 млрд. долларов ежегодно. На подготовительные и стартовые периоды инновационного процесса приходится 39,2 % венчурных инвестиций. Рынок венчурных инвестиций оценивается в 75 – 100 млрд. долларов, включая интернет – технологии, индустрию развлечений, рекламу,

торговлю, коммуникации, биотехнологии и промышленное производство.

Важно создание таких экономических механизмов, которые с одной стороны, содействовали бы внедрению в производство новейших достижений, а с другой стороны, позволяли бы сводить к минимуму финансовый риск отдельных инвесторов. Одним из таких механизмов является рисковое (венчурное) финансирование нововведений. Венчурный механизм сыграет важную роль в реализации многих крупнейших нововведений в различных областях деятельности.

Прибыль венчурного капиталиста возникает лишь тогда, когда по прошествии 5 – 7 лет после инвестирования он сумеет продать принадлежащий ему пакет акций по увеличившейся в несколько раз цене первоначального вложения. Поэтому венчурные инвесторы не заинтересованы в распределении прибыли в виде дивидендов во время своего нахождения в компании, а предпочитают всю полученную прибыль реинвестировать в бизнес.

Разделение совместных рисков между венчурным инвестором и предпринимателем, длительный период совместной деятельности и открытое декларирование сторонами своих целей на самом начале общей работы – слагаемые вполне вероятного общего успеха. Именно такой подход представляет собой основное отличие венчурного инвестирования от банковского кредитования или стратегического партнерства.

Важным условием венчурного финансирования является ориентация малой фирмы на расширение производства, ибо только быстро развивающееся предприятие может рассчитывать на повышение курса своих акций после выхода на биржу.

Особенно охотно венчурный капитал предоставляется двум категориям малых фирм:

- фирмам, которые выкуплены у владельцев управляющими, способными детально оценить перспективы развития этих предприятий;
- новым фирмам, основанным сотрудниками известных наукоемких корпораций, намеренных уже в качестве независимых предпринимателей реализовать идеи и разработки, подготовленные еще в стенах прежней фирмы.

Конкретное представление о функциях и принципах деятельности рискованного капитала дает рассмотрение этапов венчурного финансирования.

Первый этап – зарождение венчура: финансируется преимущественно из средств основателей фирмы, их сбережений, личных займов, расходующихся на разработку изделий, идея производства которых и привела к созданию фирмы.

Второй этап – создание прототипа новшества (длится около года): начинается осуществляться поддержка венчура профессиональным рискованым капиталом. Этому предшествует жесткий отбор представленных экспертным советом фирмы рискованного капитала бизнес – планов.

Третий этап развития венчура длится от 4 до 6 лет – этап расширения производства. Задачи венчура – привлечь дополнительные средства для на-

лаживания производства и устойчивого сбыта, в чем и оказывают помощь рискованные капиталисты. Если венчур становится прибыльным и имеет достаточные перспективы роста, то фирма выводит венчур на открытый рынок ценных бумаг.

Четвертый этап – выход на рынок первых эмиссий: стартовая компания – венчур меняет статус частной корпорации на статус открытой компании, акции которой продаются.

Управление венчурным фондом осуществляет инновационная компания, занимающаяся поиском, отбором, экспертизой и управлением инновационными проектами. Такой фонд оказывает инновационным фирмам помощь, информационными услугами, консультированием. Венчурные фонды могут привлечь значительную долю сбережений населения, пенсионных фондов страховых компаний и коммерческих банков.

Несмотря на отмеченные недостатки в организации деятельности венчурных фондов, в перспективе их эффективную форму финансирования следует рекомендовать для организации инновационной деятельности и создания в каждом субъекте Российской Федерации венчурных фондов, подключив для их функционирования финансово – промышленные группы, холдинги, крупные организации, банки и других инвесторов. Это, несомненно, приведет к увеличению экономического роста в России.

УДК 502

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ**

Зайнутдинов Х.Ф., Ламаш П.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Экологическая проблема – одна из глобальных проблем современности. Она тесно связана с вопросами ресурсодефицитности, экологической безопасности и экологического кризиса. Одним из путей разрешения экологической проблемы является путь «устойчивого экологического развития», предложенный в качестве основной альтернативы развития человеческой цивилизации.

Одной из причин деградации мировой экологической системы является загрязнение отходами производственной и непроизводственной (бытовой) деятельности человека. Количество этих отходов очень велико и в последнее время приняло размеры, угрожающие существованию человеческой цивилизации. Отходы делятся на твёрдые, жидкие и газообразные. По современным расчётам, к 2025 г. объём твёрдых отходов может возрасти до 400 – 500 млрд. т в год. При этом следует также учитывать, что в настоящее время только 5 – 10 % всего добываемого и получаемого сырья переходит в конеч-

ную продукцию, а 90 – 95 % его в процессе переработки превращается в прямые отходы. В структуре твёрдых отходов преобладают промышленные и газо-промышленные отходы.

Жидкими отходами загрязняется, прежде всего, гидросфера, причём главными загрязнителями здесь выступают сточные воды и нефть. Общий объём сточных вод в начале 90-х гг. достиг 1800 м<sup>3</sup>. Для разбавления единицы объёма загрязнённых сточных вод для приемлемого к использованию уровня требуется в среднем от 10 до 100 и даже 250 единиц чистой воды. Таким образом, использование водных ресурсов для разбавления и очищения сточных вод стало самой крупной статьёй их расходования.

В итоге деградация водной среды в наши дни приняла глобальный характер. Примерно 1,3 млрд. человек пользуются в быту только загрязнённой водой, что служит причиной многих эпидемиологических заболеваний. В силу загрязнения рек и морей снижаются возможности человечества.

Большую тревогу вызывает загрязнение атмосферы пылевидными и газообразными отходами, выбросы которых непосредственно связаны со сгоранием минерального топлива и биомассы, а также с горными, строительными и другими земляными работами.

Масштабным и опасным аспектом экологического кризиса является воздействие на нижние слои атмосферы парниковых газов, прежде всего диоксида углерода и метана. Диоксид углерода поступает в атмосферу в основном в результате сгорания минерального топлива (2/3 всех поступлений). Источниками поступления в атмосферу метана служат сжигание биомассы, некоторые виды сельскохозяйственного производства, утечка газа из нефтяных и газовых скважин.

Одним из главных последствий экологического кризиса на планете является оскудение её генофонда, уменьшение биологического разнообразия. Биологическое разнообразие Земли оценивается в 10 – 20 млн. видов, в том числе на территории бывшего СССР – 10 – 12 от общего количества. Урон в данной сфере уже достаточно ощутим. Это происходит из-за разрушения среды обитания растений и животных, чрезмерной эксплуатации сельскохозяйственных ресурсов, загрязнения окружающей среды. По подсчётам американских учёных, за последние 200 лет на Земле исчезло около 900 тыс. видов растений и животных.

Нами предлагается один из вариантов использования вторичных ресурсов – изготовление листа из отходов полимеров.

Линия по производству листов из вспененного полистирола – это представитель нового поколения экологически чистого строительного изоляционного материала. Получается путём непрерывного экструдирования предварительно вспененного расплава полистирола общего назначения. Готовая продукция (листы) с закрытопористой структурой имеет либо гладкую, либо перфорированную поверхность с внутренней массой.

Основные свойства листов: низкая теплопроводность, отсутствие водопоглощения, низкая паропроницаемость, высокая прочность на сжатие,

стойкость к горению, экологическая чистота, простота и удобство применения, долговечность, удобство монтажа, относительно низкая стоимость.

Сырьём для данного процесса является полистирол вспенивающийся, произведённый из отходов полимеров в другом технологическом процессе, который поставляется в виде гранул.

Технология заключается в том, что гранулы загружаются в экструдер, через шиберный фильтр поступают в плоскощелевую головку, где формуется в лист и поступают на каландр. Масса протягивается через валки каландра, где охлаждается водой, которая в них циркулирует. Далее, посредством тянущего устройства, транспортируется по рольгангу для окончательного охлаждения. Тянущее устройство представляет собой конструкцию с обрезными валками, которыми протягивается лист. На тянущее устройство устанавливаются ножи для обрезания кромки листа.

Срок окупаемости капитальных затрат – 1 год. Исходя из показателей, приведённых в таблице можно сделать вывод о том, что данный проект является рентабельным, и инвестиции могут быть выгодными за счёт быстрой окупаемости и относительно высокой чистой прибыли (таблица 1).

Таблица 1 – Основные технико-экономические показатели реализации проекта

Показатели	Годы		
	2009	2010	2011
1. Годовой объём производства, т	250	300	450
2. Цена продукции, руб./т	81000	81000	81000
3. Объём продаж, руб.	20250000	24300000	36450000
4. Количество работников, чел	6	6	6
5. Выработка на одного работающего, руб./год	3375000	4050000	6075000
6. Суммарные прямые издержки	15375000	18450000	27675000
7. Валовая прибыль	4506250	5397500	8171250
8. Чистая прибыль	3604170	4353700	6711387
9. Рентабельность	1,2	1,2	1,2

УДК 658

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ АЛЬТЕРНАТИВ**

Зайнутдинов Х.Ф., Бобко Т.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Методика инвестиционного планирования предусматривает составление полной программы инвестирования и финансирования, в которой при

оценке вариантов полностью учитывается влияние инвестиций на параметры финансового плана предприятия. Обычно эти оценки осуществляются при проведении системного анализа планов, что связано с большими затратами.

Если же на предприятии некоторые подразделения самостоятельно принимают решения относительно инвестиционного проекта, то у него имеется мало средств для оценки влияния этого проекта на политику финансирования предприятия. Проще бывает провести упрощенный, или экспресс – анализ, в рамках которого частично учитывается влияние инвестиционного проекта на одинаковую сферу предприятия.

Возможности применения экспресс – анализа базируются на том факте, что с финансированием связаны определенные обязательства (затраты) по оплате процентов и всегда возникает вопрос: будут ли эти затраты покрываться доходами от инвестиционной программы. В такой постановке последовательности платежей, связанные с инвестициями, могут исследоваться изолировано, вне связи с потоками платежей финансирования предприятия. На передний план выступают такие показатели финансирования, как процентные ставки, определяющие стоимость привлечения денежных средств.

Выбор методов обоснования инвестиционного проекта существенно зависит от того, характеризуется ли проект значительной динамикой доходов и расходов по периодам реализации или проект можно охарактеризовать среднегодовыми показателями или затрат и результатов.

В первом случае используют динамические методы, а во втором – статистические методы оценки проектов.

В соответствии с вышеизложенным, каждый инвестиционный проект описывается в рамках применения финансовых методов потоками доходов и реальных расходов, разность которых формирует денежный поток проекта. В качестве доходов учитываются поступления:

- от продажи продукции и отходов;
- от продажи имущества (основных средств) и запасов, остающихся к концу срока действия проекта;
- от экономии на производственных расходах, в частности, на материалах, заработной плате, энергии и производственных помещениях.

В качестве расходов учитываются:

- расходы на приобретение объекта инвестиций и сопутствующие инвестиции в сопряженные производства;
- расходы на транспорт и установку оборудования;
- расходы на увеличение (пополнение) оборотных средств, исключая прирост кредиторской задолженности за товарные поставки;
- производственные расходы на материал, сырье и энергию, заработную плату персонала, расходы на ремонт оборудования, расходы на социальное страхование, на величину сборов, пошлин, налогов, на маркетинговую деятельность.

По определению, денежный поток инвестиционного проекта есть вектор, компоненты которого представляют сальдо доходов и расходов за каж-

дый выделенный период планового срока эксплуатации проекта.

Обычно продолжительность периода составляет год. Однако с учетом специфики проекта компоненты денежного потока могут рассчитываться и по другим подпериодам – полугодие, квартал, месяц.

Подчеркнем, что при расчете компонент денежного потока используется информация об ожидаемых платежах – поступлениях и выплатах денежных средств, а не о всех видах затрат, осуществляемых в процессе эксплуатации проекта.

Рассмотрим специфику формирования денежного потока на примере.

Пример. Изучается возможность замены устаревшей машины на более производительную. Остаточная стоимость старой машины 140000 д.е. ее продажная стоимость равна 120000 д.е. пусть цена приобретения новой машины составляет 200000 д.е., технически целесообразный срок ее эксплуатации – 5 лет.

Ввод машин в эксплуатацию позволяет лучше удовлетворить спрос, в результате чего объем продаж увеличивается на 8000 д.е. в первый год, на 90000 д.е. – во второй год, на 10500 д.е. – в третий год и на 110000 д.е. – в четвертый и пятый года. Предприятие применяет линейную схему начисления амортизации.

Дополнительные производственные затраты составляют 62000 д.е./год.

Отметим, что дополнительные амортизационные отчисления рассчитываются следующим образом. Операция замены приводит к изменению счета результатов при отчислениях по старой машине ( $140000/5 = 28000$ ), на отчисления по новой машине ( $200000/5 = 40000$ ). Разность составляет 12000 д.е.

Денежный поток включает: сальдо дополнительных поступлений и выплат плюс дополнительная амортизация. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета дополнительных поступлений и выплат

Годы	Дополнительные затраты			Денежный поток
	поступления	выплаты	амортизация	
1	80000	62000	12000	30000
2	90000	62000	12000	40000
3	105000	62000	12000	55000
4	110000	62000	12000	60000
5	110000	62000	12000	60000

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО МЕНЕДЖМЕНТА

ФЕДОТОВ В.М., ФЕДОТОВ М.В.

Мировая практика разработки и реализации систем менеджмента, основанная на последовательной реализации международных стандартов серии 9000 версий 1987, 1994 и 2000 г., экологического менеджмента, основанного на требованиях стандартов серии 14000 версий 1998 и 2004 г. продемонстрировала неэффективность такого подхода к менеджменту.

Во-первых, в одной организации появляются несколько, конкурирующих за обеспечение ресурсами, систем (система менеджмента качества, система экологического менеджмента и система промышленной безопасности).

Во-вторых, резко увеличивается количество документации, которая разрабатывается и применяется параллельно с имеющейся на предприятии собственной технологической, конструкторской и др. документацией, что делает эти системы просто затратными.

В-третьих, системы носят локальный характер, т.е. функционируют для решения одной конкретной идентифицированной потребности заинтересованных сторон (государства, общества и потребителя).

В-четвертых, такие системы не предусматривают инновационных преобразований (только улучшение), что ограничивают использование их для стратегического планирования социально-экономической деятельности предприятия.

Стремление организаций сократить затраты на поддержание систем в рабочем состоянии, включая затраты на инспекционный контроль за сертифицированными системами вынуждает организации идти на интегрирование этих систем. Как отмечается в проекте AFNOR (2005/01/10), «интеграция систем менеджмента стала предметом все повышающегося спроса для организаций, стоящих перед лицом множества правил и документов, касающихся любой специфической области всеобщего менеджмента».

К этому необходимо добавить, что дальнейшее успешное развитие организации невозможно без реализации концепции устойчивого развития, которая предполагает направленность ее на удовлетворение потребностей конкретного человека (повышение качества жизни) и развитие в гармонии с природой.

Любая организация имеет собственную систему менеджмента, и высшее руководство устанавливает политику и цели в рамках этой системы, однако ни одна из известных моделей систем менеджмента не имеет стратегической направленности – вектора развития, а по тому не позволяет устанавливать стратегические цели, в частности цели, обозначенной в 2006 г. Президентом России В.В.Путиным – повышение качества жизни.

Таким образом, важной задачей на сегодняшний день является разработка общего подхода к менеджменту организации.

Обосновывая возможный подход к совершенствованию системы менеджмента в проекте AFNOR «Система менеджмента. Менеджмент организации» отмечается, что «если высшее руководство решает взять за основу концепцию устойчивого развития и принять на себя полную ответственность перед обществом, то применение общего подхода к менеджменту организации становится обязательным требованием...» и далее «...теперь кажется возможным, желательным и даже важным разработать и формализовать общий подход к практике менеджмента в рамках организации и согласовать его с существующими подходами, основанными на внедрении менеджмента в специфических областях».

В качестве одного из вариантов реализации общего подхода к менеджменту организации предлагается модель Системы Инновационного менеджмента (СИМ), идеологической основой которой является последовательность: от комплексной системы управления качеством продукции - через реализацию принципов TQM и концепции устойчивого развития - к Системе Инновационного Менеджмента.

Центральным элементом модели СИМ является *Вектор устойчивого развития системы*, определяющий направление развития Системы, начиная от базового полюса, отражающего потребности заинтересованных сторон, в первую очередь человека и общества, до стратегического полюса, отражающего наивысшие, достигнутые в мировой практике, параметры качества жизни.

Вектор устойчивого развития является осью *Конуса устойчивого развития системы* (КУРС), отражающего структуру идентифицированных, т.е. установленных и удовлетворяемых организацией потребностей заинтересованных сторон:

Уровень 1 – Качество продукции (технические регламенты, национальные стандарты, стандарты организаций);

Уровень 2 – Качество административного менеджмента (ISO 9001:2000);

Уровень 3 – Качество экологического менеджмента (ISO 14001:2004);

Уровень 4 – Качество менеджмента профессиональной безопасности (OHSAS 18001);

Уровень 5 – Качество социального менеджмента (SA 8000).

Другие уровни – новые идентифицированные организацией потребности заинтересованных сторон (здоровье, образование, жилищные условия и др.).

Развитие Системы Инновационного Менеджмента осуществляется путем реализации двух видов процессов:

– инновационных процессов (разработка и внедрение проектов, направленных на идентификацию новых потребностей заинтересованных сторон);

– процессов улучшения процессов, продукции в пределах конкретного уровня Конуса устойчивого развития с использованием цикла Деминга (PDCA).

Как видно из представленной концептуальной модели, в Системе Инновационного Менеджмента предполагается выполнение требований международных стандартов. СИМ выгодно отличается от известных моделей систем менеджмента своей стратегической ориентацией на качество жизни, привлечением инновационных процессов и реализацией важного принципа: одна организация – одна система.

Деятельность организации в рамках СИМ осуществляется на основе стандартизации, осуществляемой в соответствии с Российским законодательством.

Документация СИМ разрабатывается и применяется в соответствии с требованиями ISO 9001:2000 (раздел 4) с учетом требований Федерального закона «О техническом регулировании».

В соответствии с законом «О техническом регулировании» к нормативным документам по стандартизации относятся национальные стандарты и стандарты организации, имеющие одинаковый статус (при ссылке на них в договорах на поставку продукции), а статья 17 Закона устанавливает, что стандарты организаций разрабатываются для совершенствования производства и обеспечения качества продукции, выполнения работ и оказания услуг.

ГОСТ Р 1.4-2004 устанавливает, что объектами внутри организации могут быть:

- составные части разрабатываемой или изготавливаемой продукции;
- процессы организации и управления производством;
- процессы менеджмента;
- технологическая оснастка и инструмент;
- технологические процессы, а также общие технические нормы и требования с учетом обеспечения безопасности для жизни и здоровья граждан, окружающей среды и имущества;
- номенклатура сырья, материалов, комплектующих изделий, применяемых в организации;
- процессы выполнения работ на стадиях жизненного цикла продукции;
- методы, методики проектирования, проведения испытаний, измерений, анализа;
- услуги, оказываемые внутри организации, в том числе и социальные.

Единственное требование, которое предъявляется к стандартам организации Законом, состоит в том, что устанавливаемый в них уровень требований по безопасности должен быть не ниже установленного соответствующим техническим регламентом.

Применительно к предприятиям, имеющим опасные производства, стандарты организации должны демонстрировать выполнение следующих технических регламентов, программа разработки которых утверждена рас-

поряжением Правительства Российской Федерации от 29 мая 2006 г. № 781-р (по состоянию на день утверждения):

- 1) О безопасной эксплуатации и утилизации машин и оборудования (январь 2007 г.);
- 2) О безопасной эксплуатации зданий, строений и сооружений и безопасном использовании прилегающих к ним территорий (май 2007 г.);
- 3) О пожарной безопасности (проект представлен);
- 4) Об экологической безопасности (январь 2007 г.);
- 5) О безопасности машин и оборудования (сентябрь 2006 г.);
- 6) О безопасности низковольтного оборудования (проект представлен);
- 7) О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением свыше 0,07 МПа или при температуре нагрева воды свыше 115 °С (авг. 2006 г.);
- 8) О безопасности подъемно-транспортного оборудования и процессов его эксплуатации (июль 2006 г.);
- 9) О безопасности производственных процессов добычи, обогащения и переработки полезных ископаемых (июль 2006 г.);
- 10) О безопасности производственных процессов и систем газоснабжения (ноябрь 2006 г.);
- 11) О безопасности электроустановок (март 2007 г.);
- 12) О безопасности процессов металлургических производств (авг. 2007 г.);
- 13) О безопасности строительных материалов и изделий (июль 2007 г.);
- 14) О требованиях к безопасности зданий и других строительных сооружений гражданского и промышленного назначения (ноябрь 2008 г.);
- 15) О безопасности автотранспортных средств (февраль 2007 г.);
- 16) О безопасности железнодорожного транспорта (сентябрь 2007 г.);
- 17) О требованиях к безопасности медицинской техники и изделий медицинского назначения (ноябрь 2008 г.);
- 18) О безопасной эксплуатации электроустановок (июнь 2007 г.);
- 19) О безопасности теплоснабжения (апрель 2007 г.);
- 20) О безопасности систем электроснабжения (август 2007 г.);
- 21) О требованиях к средствам индивидуальной защиты (сентябрь 2008 г.);
- 22) О требованиях к безопасности хранилищ нефти, нефтепродуктов и сжиженного газа (май 2008 г.);
- 23) О требованиях к безопасности инфраструктуры водоснабжения и водоотведения (апрель 2008 г.);
- 24) О безопасности перевозки железнодорожным транспортом (март 2008 г.);
- 25) О безопасности автотранспортных средств в эксплуатации (февраль 2008 г.);

26) О безопасности процессов технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств (март 2008 г.);

27) О требованиях к безопасности применения и утилизации шин (декабрь 2008 г.);

28) О требованиях к безопасности спортивного оборудования и инвентаря (февраль 2008 г.).

Реализацию данной модели следует осуществлять в два этапа.

На первом этапе необходимо обеспечить устойчивую работу организации в условиях технического регулирования.

На втором этапе реализуются принципы Инновационного Менеджмента Качества, представленные в данном сообщении в форме Концепции.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ</b> .....	3
<b>Полторацкий Л.М., Барнаев И.А.</b> Наука и бизнес в современной черной металлургии .....	3
<b>Акатьев П.Н., Прошунин Ю.Е.</b> Кузбасский Технопарк как один из основных инструментов инновационного развития региона .....	7
<b>Якушевич Н.Ф., Чужинова И.В.</b> Возможности переработки высокофосфористых руд Бакчарского железородного месторождения .....	13
<b>Комшукوف В.П., Черепанов А.Н., Протопопов Е.В., Ганзер Л.А.</b> Исследование нестационарных процессов при разливке стали на сортовой МНЛЗ.....	17
<b>Уманский А.А., Прахов А.Е., Чернышева Н.А.</b> Изучение ликвации химических элементов в слитках качественной кипящей стали при различных условиях кристаллизации .....	24
<b>Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б.</b> Проведение Международной конференции как необходимый этап разработки программы глубокой переработки углей в Кузбассе .....	32
<b>Школлер М.Б., Прошунин Ю.Е.</b> Перспективы внедрения технологии вдувания пылеугольного топлива в горн доменной печи .....	35
<b>Прошунин Ю.Е., М.Б. Школлер</b> О перспективах развития энерготехнологической схемы переработки бурых углей в Кузбассе .....	38
<b>Черновол В.В., Прошунин Ю.Е., Почечуев А.А.</b> Об эффективности использования автономных отопительных систем на основе слоевых твердотопливных котлов «Теплотрон».....	42
<b>СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ</b> .....	46
<b>Нохрина О.И., Рожихина И.Д.</b> Разработка технологических аспектов производства марганцевых сплавов из руд месторождений Кузбасса .....	46
<b>Руднева В.В., Галевский Г.В., Ноздрин И.В.</b> Опыт применения нанокарбида кремния в технологии конструкционной керамики .....	49
<b>Нугуманов Р.Ф., Протопопов Е.В., Харлашин П.С.</b> Изучение механизма взаимодействия стального лома с железо- углеродистым расплавом в диффузионном и тепловом режимах.....	53

<b>Фейлер С.В., Протопопов Е.В., Ганзер Л.А.</b>	
Разработка оптимального состава шлакообразующих смесей для промежуточного ковша слэбовой МНЛЗ .....	61
<b>Перетяцько В.Н., Филиппова М.В., Федоров А.А., Бахаев А.В.</b>	
Качество шаровой заготовки .....	65
<b>Почетуха В.В., Перетяцько В.Н., Почетуха В.В.</b>	
Реологические свойства заэвтектических силуминов при температурах горячей деформации в зависимости от модифицирующего эффекта .....	67
<b>Почетуха В.В., Никитин А.Г., Почетуха В.В.</b>	
Технологические особенностиковки крупных слитков.....	70
<b>Жибинова И.А., Шакиров К.М., Протопопов Е.В., Шакиров М.К.</b>	
Термодинамическое обоснование технологии жидкофазного восстановления железа и марганца из оксидных материалов, в том числе из отходов производства, в условиях кислородно-конвертерного процесса.....	73
<b>Шакиров М.К., Жибинова И.А., Шакиров К.М., Протопопов Е.В.</b>	
Термодинамический анализ реакций восстановления оксидов железа и марганца в условиях кислородно-конвертерного процесса с верхней продувкой с учетом растворимости ряда компонентов в жидком железе .....	79
<b>Носов Ю.Н., Фойгт Д.Б., Сидорова И.Н.</b>	
Освоение производства микролегированной ниобием стали для слэбовой МНЛЗ.....	87
<b>Темлянцев М.В., Олендаренко О.Д.</b>	
Экспериментальное исследование температур плавления и структуры окалина рельсовой стали Э30ХГ2САФМ.....	92
<b>Сысоев Н.П., Левин И.Ю., Лёкин В.П., Гибадулин Р.Х.</b>	
Вариант утилизации металлокорда автотранспортных покрышек .....	94
<b>Прошунин И.Е., Нохрина О.И.</b>	
Применение марганцевого концентрата в сталеплавильном производстве.....	96
<b>Лубяной Д.А., Фойгт Д.Б., Фирсов В.А.</b>	
Применение термовременной обработки и нестационарной продувки для рафинирования железоуглеродистых расплавов в условиях ОАО «ЗСМК» (состояние и перспективы) .....	100
<b>Климов А.С., Меденков А.А., Петрова В.А.</b>	
Математическое моделирование электромагнитной гидродинамики при внепечной обработке стали .....	105
<b>Меденков А.А., Климов А.С., Афанасьев В.К., Петров В.И.</b>	
Исследование сварных соединений с учётом параметров эксплуатации .....	108

<b>Петров В.И., Сарычев В.Д., Петрова В.А., Левина Е.А.</b> Распространение волн напряжений от точечного источника при разрушении горных пород .....	111
<b>Петров В.И., Петрова В.А., Патанин А.В., Меденков А.А.</b> Моделирование распространения волн напряжений при нарушении сплошности упругих сред.....	115
<b>Дорошенко В.А., Дорошенко Б.В.</b> Фазово-минералогический состав фосфористых шлаков .....	119
<b>Деев В.Б., Селянин И.Ф., Цецорина С.А., Прохоренко А.В.</b> Расчет параметров разупорядоченной зоны металлических расплавов .....	123
<b>Деев В.Б., Селянин И.Ф., Башмакова Н.В., Прохоренко А.В.</b> Влияние обработки сплава АК7ч электрическим током на механические свойства.....	125
<b>Деев В.Б., Селянин И.Ф., Цецорина С.А., Кольчурина И.Ю., Приходько О.Г.</b> Модифицирующее влияние внешних воздействий на металлические расплавы .....	126
<b>Деев В.Б., Селянин И.Ф., Ознобихина Н.В.</b> Расчет доли твердой фазы при остановке потока расплава в литейной форме.....	133
<b>Тяпков М.А., Метерский В.Я., Обухов Г.В.</b> Бескислотная технология производства проволоки общего назначения диаметром 2,5 – 1,0 мм .....	134
<b>Коробейников А.П., Филин А.Н.</b> Изучение взаимосвязи количества сбросных газов устк с угаром кокса .....	136
<b>Коробейников А.П., Филин А.Н., Ушаков Е.Б.</b> Снижение токсичности газообразных выбросов УСТК при утилизации избыточного циркулирующего газа.....	139
<b>Ващенко А.Ю., Джемела П.В.</b> О влиянии химико-термической обработки на свойства эвтектоидной стали.....	143
<b>Ващенко А. Ю., Джемела П.В.</b> Влияние химико-термической обработки на свойства малоуглеродистой стали .....	145
<b>Агиенко Н.Ю., Копытько А.А.</b> О линейном расширении технического алюминия.....	146
<b>Масляев М.В.</b> Влияние многократных нагревов на свойства малолегированного белого чугуна.....	149

<b>Морозова Е. Л., Передерей С.А.</b>	
Влияние предварительного нагрева на коэффициент линейного расширения доэвтектических силуминов .....	151
<b>Афанасьев В.К., Гришков Н.В., Лаврова Н.Б., Долгова С.В., Толстогузов В.Н.</b>	
Влияние наводороживания шихты на свойства стали 20Л и железа 008ЖР .....	154
<b>Горшенин А.В., Старостина М.А.</b>	
Особенности влияния температуры заливки на линейное расширение технического алюминия .....	157
<b>Горшенин А.В., Старостина М.А.</b>	
О влиянии обработки расплава и старения на линейное расширение технического алюминия .....	160
<b>Слюняев Л.В., Шунков В.С.</b>	
Влияние термической обработки на линейное расширение поршневых алюминиевых сплавов .....	162
<b>Долгова С.В.</b>	
О влиянии термической обработки на линейное расширение железа 008ЖР .....	166
<b>Долгова С.В.</b>	
Особенности влияния химико-термической обработки на линейное расширение железа .....	169
<b>Беззубко А. В., Гончарова В.В., Самарцев В.П.</b>	
Условия формирования и свойства композиционных покрытий WC-пр-X17C4P4, предназначенных для упрочнения лопаток эксгаустера аглодоменного производства.....	171
<b>Дорофеев С.В., Дорофеев В.В., Перетяцько В.Н., Юрьев А.Б., Громов В.Е.</b>	
Уменьшение концевой кривизны рельсов при прокатке.....	174
<b>Ефимов О.Ю., Юрьев А.Б., Чинокалов В.Я., Симаков В.П., Громов В.Е., Коновалов С.В.</b>	
Плазменное упрочнение литых чугуновых валков для прокатки арматуры .....	177
<b>Филиппьев Р.А., Коновалов С.В., Котова Н.В., Столбоушкина О.А., Громов В.Е.</b>	
Изменение микротвердости алюминия и меди при внешнем энергетическом воздействии .....	181
<b>Козырев Н.А., Александров И.В., Юрьев А.Б., Годик Л.А., Громов В.Е.</b>	
Возможности ресурсо- и энергосбережения при выплавке стали с применением жидкого чугуна .....	185

<b>Полторацкий Л.М., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я., Сидорова О.Д., Громов В.Е.</b>	
Воздействие водорода на механические свойства арматурного проката .....	189
<b>Жмакин Ю.Д., Загуляев Д.В., С.В. Коновалов, Кузнецов В.А., Громов В.Е.</b>	
Генераторы мощных токовых импульсов для интенсификации процессов обработки металлов давлением .....	191
<b>Попова М.В., Коношенкина Н.В.</b>	
Влияние технологических факторов на тепловое расширение сплава Al–11% Si .....	194
<b>Попова М.В., Коношенкина Н.В.</b>	
Влияние условий кристаллизации на физико-механические свойства сплава Al–15% Si .....	197
<b>Паршин С.В.</b>	
Создание модели и разработка устройства для получения винтовых профильных труб.....	201
<b>Паршин С.В.</b>	
База данных моделей процесса и обобщенный очаг деформации при профилировании труб .....	205
<b>Корнеева Е.В.</b>	
Бесцементное вяжущее из сталелитейных шлаков и закладочная смесь на его основе.....	209
<b>Вострецова А.В., Карпий С.В., Будовских Е.А., Громов В.Е.</b>	
Повышение микротвердости углеродистой стали при различных видах одно- и двухкомпонентного электровзрывного легирования .....	214
<b>Кулаков С.М., Югов А.А., Гурина О.В., Бондарь Н.Ф.</b>	
Об организационно-функциональной структуре кадровой службы крупного промышленного предприятия при использовании аутсорсинга .....	216
<b>Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф.</b>	
Аналоги динамических объектов в задачах управления .....	223
<b>Оленников А.А., Цымбал В.П.</b>	
Модели и комплекс программ по выбору оптимального варианта использования тепловой энергии отходящих газов металлургических агрегатов жидкофазного восстановления .....	230
<b>Мусатова А.И.</b>	
Алгоритмизация планирования показателей производственной программы .....	234

<b>Мусатова А.И., Кулаков С.М., Кадыков В.Н.</b>	
Ситуационное прогнозирование технико-экономических показателей в зависимости от спроса на продукцию.....	240
<b>Кулаков С.М., Валишевская Л.Г., Мусатова А.И.</b>	
Использование нормативных моделей в оценке платежеспособности предприятия .....	245
<b>Островлянчик В.Ю., Дужий А.В.</b>	
Локальная АСУ ТП технологическим процессом «Подъём» .....	249
<b>Островлянчик В.Ю., Модзелевский Д.Е.</b>	
Самонастраивающиеся системы управления полупроводниковыми преобразователями.....	255
<b>Островлянчик В.Ю., Борщинский М.Ю.</b>	
Адаптация в электромеханических системах управления электроприводом рудничной подъемной установки .....	257
<b>Островлянчик В.Ю., Кубарев В.А.</b>	
Метод построения системы логического управления на примере шахтной подъемной установки .....	262
<b>Кунин П.Н.</b>	
Модель трехфазного короткозамкнутого асинхронного электродвигателя на основе результирующих векторов, эквивалентных параметрам систем постоянного тока.....	267
<b>Бондарь Н.Ф., Левкина О. М.</b>	
О разработке автоматизированной системы управления отбором персонала .....	274
<b>Кулаков С.М., Бондарь Н.Ф., Гонилова Т.Г., Чабан С.В.</b>	
О показателях прямолинейности проката и их применимости в системе автоматического контроля рельсов .....	279
<b>Новоселов А.В., Грачев В.В.</b>	
Совершенствование информационной системы «TRAFFIC INSPECTOR».....	282
<b>Кошелев А.Е., Криволапова Л.И., Кравцова О.А.</b>	
Модернизация АСУ внепечной обработкой стали.....	284
<b>Кулаков С.М., Трофимов В.Б.</b>	
О функциональной структуре нейроэкспертной системы управления тепловым режимом воздухонагревателя Калугина.....	289
<b>Верёвкин В.И., Исмаилова О.М., Атавин Т.А.</b>	
Представление информации о результатах численного моделирования внепечной обработки стали.....	294
<b>Верёвкин В.И., Исмаилова О.М., Атавин Т.А.</b>	
Автоматизированное составление расписания учебных занятий вуза с учётом трудности дисциплин и утомляемости студентов .....	301

<b>Павлов Н.В., Крюков А.В.</b>	
Компьютерное приложение автоматизированного расчета норм времени «Нормировщик».....	307
<b>Соколов П.Д.</b>	
Опыт работ по восстановлению и увеличению ресурса крановых колес .....	310
<b>Крампит Н.Ю., Крампит А.Г.</b>	
Наплавка в среде углекислого газа на повышенном вылете электродной проволоки.....	312
<b>Полторацкий Л.М., Рудаков С.Г.</b>	
Бескислотная технология производства проволоки из низкоуглеродистой стали: формирование структуры проволоки при осадке и волочении.....	314
<b>Ильина Г.Н.</b>	
Разработка планов качества в условиях ОАО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова» .....	316
<b>Степанов А.П.</b>	
Эмиссия электронов при дуговом разряде .....	320
<b>Колмогоров Д.Е.</b>	
Рекомендации по применению контактных наконечников сварочных горелок.....	325
<b>Полторацкий Л.М., Рудаков С.Г.</b>	
Характеристика внедряемых комплексов механического удаления окалины .....	330
<b>Рудаков С.Г., Катунина А.С.</b>	
Прибор для термообработки сварных соединений из никелида титана .....	332
<b>Бурков В.П., Бурков П.В., Зернин Е.А.</b>	
Влияние общей и локальной термических обработок на мезоскопический механизм разрушения сварных соединений высокоазотистой стали.....	334
<b>Сабиров И.Р., Ильященко Д.П., Зернин Е.А.</b>	
К вопросу применения функциональных покрытий в промышленности .....	339
<b>Зернин Е.А., Крампит Н.Ю.</b>	
Концептуальная модель качества образования .....	342
<b>Ильященко Д.П., Зернин Е.А., Буцкевич А.А.</b>	
Влияние динамических характеристик источника питания на величину разбрызгивания при рдс покрытыми электродами. ....	345

<b>Рудаков С.Г., Катунина А.С.</b>	
Контроль и управление качеством сварных соединений при изготовлении конструкций из материалов с заранее заданными свойствами .....	351
<b>Тюменцев И.Г., Егоров В.Ф., Полищук С.В., Тюменцев М.И.</b>	
Оценка сопротивляемости металла шва разрушению при испытаниях в случае двуосного напряженного состояния .....	354
<b>Игушев В.Ф., Вострецов Г.Н.</b>	
Пути повышения качества сварочных электродов общего назначения с ильменитовым покрытием .....	358
<b>Малушин Н.Н.</b>	
Разработка систем менеджмента качества в сварочном производстве, основанных на процессном подходе .....	361
<b>Малушин Н.Н., Крутский Ю.Л., Устинов В.В.</b>	
Восстановление и упрочнение горелок газовой турбины газопламенным напылением.....	365
<b>Пугачев Е.В.</b>	
Устройство для определения электрических параметров аккумуляторов для комплектации их в батареи .....	368
<b>Иванов А.С., Пугачев Е.В.</b>	
Модернизация шахтных подъемных установок с электроприводом переменного тока .....	372
<b>Фильков С.И., Петков В.П., Лёвин А.Е., Черёмушкина Е.М.</b>	
Учет электроэнергии с использованием оборудования болгарской компании ООД «Мультипроцессорные системы».....	374
<b>Кузнецова Е.С., Свирская Г.С. Кипервассер М.В.</b>	
Энергетический менеджмент на промышленных предприятиях .....	379
<b>Громова О.В., Бабурская Е.С.</b>	
Факторы, влияющие на электропотребление в условиях угольного предприятия на примере шахты «Юбилейная».....	382
<b>Тимофеев А.С.</b>	
Проблемы энергосбережения в системе подземного электроснабжения горнодобывающих предприятий .....	388
<b>Бих В.В.</b>	
Методика обучения студентов ВУЗов и колледжей и персонала промышленных предприятий по курсу электроснабжения угледобывающих предприятий .....	390
<b>Алюханов К.А.</b>	
Методика обучения студентов ВУЗов и колледжей и персонала промышленных предприятий по курсу электроснабжения подземных потребителей угольных шахт .....	394

<b>Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Моисеев Л.Л.</b>	
Оценка характера развития сетей пневмоснабжения подземных работ железорудных шахт .....	400
<b>Кузнецова Е.С., Свирская Г.С., Кипервассер М.В.</b>	
Внешняя и внутренняя среда энергоменеджмента на промышленных предприятиях .....	406
<b>Фастыковский А.Р.</b>	
Перспективные направления снижения энергопотребления при производстве сортового проката .....	408
<b>Стерлигов В.В., Коротков С.Г., Размахнин Д.А.</b>	
Подготовка шахтного метана для использования в качестве металлургического топлива .....	411
<b>Петров Е.В., Автушенко В.В., Муратов В.М.</b>	
Контроль качества обучения .....	413
<b>Фокин К. Б.</b>	
Исследование функций управления персоналом современной HR-службы .....	416
<b>Фокин К.Б.</b>	
К вопросу определения нормативного времени заполнения вакансии .....	422
<b>Фокин К.Б., Левкина О.М.</b>	
Разработка системы критериев отбора учебных заведений для подготовки персонала предприятий .....	427
<b>Югов А.А., Хамонтова Н.В.</b>	
Об управлении персоналом промышленных предприятий с использованием технологий контроллинга .....	432
<b>Галевский С.Г.</b>	
Стоимостная оценка вероятности банкротства (на примере ОАО «Иркут»).....	436
<b>Бобко Т.В., Зайнутдинов Х.Ф.</b>	
Энергетическая безопасность на металлургических предприятиях ....	441
<b>Зайнутдинов Х.Ф.</b>	
Венчурные фонды – эффективная форма организации финансирования инноваций .....	444
<b>Зайнутдинов Х.Ф., Ламаш П.А.</b>	
Эффективность использования вторичных ресурсов .....	447
<b>Зайнутдинов Х. Ф., Бобко Т. В.</b>	
Применение динамических методов оценки инвестиционных альтернатив.....	449
<b>Федотов В.М., Федотов М.В.</b>	
Модель системы инновационного менеджмента .....	452

# **МЕТАЛЛУРГИЯ: НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ, ИННОВАЦИИ И КАЧЕСТВО**

*Труды Всероссийской научно-практической конференции*

Под общей редакцией	Е.В. Протопопова
Технические редакторы	Н.В. Ознобихина Г.А. Морина
Компьютерная верстка	Е.Ф. Мелещук

Подписано в печать 08 г.  
Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 31,8. Уч.-изд. л. 33,7. Тираж 500 экз. Заказ 110.

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.  
Типография СибГИУ