

# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ISSN 2306-8493

Т. 9. №1. 2018

## Редколлегия:

**Председатель редколлегии:**  
проф., д-р техн. наук *О.Н. Тулупов*

**Зам. председателя редколлегии:**  
проф., д-р техн. наук *Г.С. Гун*

**Главный редактор:**  
проф., д-р техн. наук *О.С. Логунова*

**Ответственный редактор:**  
канд. техн. наук *С.В. Пыхтунова*  
канд. ист. наук *О.А. Голубева*  
доц., канд. пед. наук *Н.В. Кузнецова*  
доц., канд. ист. наук *Н.Н. Макарова*  
канд. техн. наук *Е.Г. Неипоренко*  
доц., канд. техн. наук *Н.А. Осинцев*  
канд. техн. наук *А.С. Харченко*  
доц., канд. техн. наук *С.М. Андреев*  
доц., канд. техн. наук *М.В. Шубина*

**Редактор:** *Н.В. Кутекина*  
**Верстка:** *Т.В. Леонтьева*

---

© ФГБОУ ВО «МГТУ  
им. Г.И. Носова», 2018

---

**Адрес редакции:**  
455000, Челябинская обл.,  
г. Магнитогорск,  
пр. Ленина, 38,

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».  
Тел. (3519) 29-84-63.  
E-mail: pio@magtu.ru

**Адрес издателя:**  
455000, Челябинская обл.,  
г. Магнитогорск,  
пр. К.Маркса, 45/2,

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,  
издательский центр.

**Адрес типографии:**  
455000, Челябинская обл.,  
г. Магнитогорск,  
пр. Ленина, 38,

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,  
участок оперативной полиграфии.

---

16+, в соответствии с Федеральным  
законом №436-ФЗ от 29.12.10.

Выход в свет 19.09.2018 г. Заказ 347.  
Тираж 500 экз. Цена свободная.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Симонов П.С.</b> Воспитание дисциплины и ответственности с помощью учебной среды Moodle.....	2
<b>Кольга А.Д., Добрецких А.А., Филатов А.А.</b> Оценка остаточного ресурса металлоконструкций кранов магнитным методом.....	5
<b>Сабанова М.Н., Орехова Н.Н., Горлова О.Е.</b> Особенности флотации медеплавильных шлаков с применением дополнительного собирателя.....	10
<b>Бурмистров К.В., Головей С.И.</b> Исследование способа размещения конвейера на неустойчивых породах нерабочего борта карьера.....	15
<b>Набиев И.Г., Фридрихсон О.В.</b> Оптимизация численности парка многооборотных средств крепления на металлургическом предприятии.....	19
<b>Анцупов В.П., Слободянский М.Г., Анцупов А.В. (мл), Анцупов А.В., Макарова П.В., Севостьянов И.А.</b> Прогнозирование ресурса зубчатых муфт по критерию износостойкости для обеспечения требований ремонтного цикла металлургических машин.....	23
<b>Сычков А.Б., Агутин Г.В., Камалова Г.Я.</b> Технология термической обработки фасонного проката в потоке сортовых станов....	28
<b>Харитонов В.А., Усанов М.Ю., Сметнёва Н.Ю.</b> Совершенствование технологии производства закаленно-отпущенной пружинной проволоки.....	33
<b>Бунеева Е.А., Столяров А.М.</b> Исследование качества непрерывнолитой трубной стали.....	37
<b>Рожков Г.К.</b> Развитие концепции мини-заводов для производства стального проката.....	40
<b>Прошкин Ю.В., Макарова И.В.</b> Совершенствование системы охлаждения доменных печей ПАО «ММК».....	44
<b>Пашенко К.Г., Бахматов Ю.Ф., Кальченко А.А.</b> Установка бесфильтрного волочения и очистки поверхности катанки на конических роликах.....	48
<b>Лукьянов С.И., Мартынов К.С.</b> Система подавления устойчивых колебаний уровня жидкого металла в кристаллизаторе МНЛЗ.....	50
<b>Наумов А.В., Газизова О.В.</b> Анализ экономической эффективности и работы приводов дутьевых вентиляторов при использовании частотных регуляторов.....	53
<b>Агапитов Е.Б., Соколова М.С., Агапитов А.Е.</b> Анализ связи реструктуризации металлургических предприятий с характером производства и потребления вторичных энергетических ресурсов....	56
<b>Николаев А.А., Тулупов П.Г.</b> Разработка программно-аппаратного комплекса для анализа режимов работы систем управления гидроприводами перемещения электродов электродуговых сталеплавильных печей.....	60
<b>Махмутова М.В., Белоусова И.Д.</b> Сервисный подход к управлению ИТ-услугами в производственной компании.....	65
<b>Илларионова Д.А., Мазнин Д.Н., Баранкова И.И.</b> Защита ИСПДн в МГТУ.....	69
<b>Логунова О.С., Шилов Р.Э., Леднов А.В.</b> Методика и алгоритмы сегментации изображения пенного продукта флотации.....	72
<b>Моисеев В.С., Курбетьев К.В., Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю.</b> Особенности идентификации геометрического распределения тепловых потерь от кладки в нагревательной печи стана 2500 ПАО «ММК».....	76

УДК 378.147

## ВОСПИТАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ И ОТВЕТСТВЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ УЧЕБНОЙ СРЕДЫ MOODLE

Симонов П.С.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В статье рассмотрены возможности использования учебной среды Moodle для воспитания дисциплины и ответственности студентов.

Ответственность преподавателя заключается в наполнении учебной среды необходимыми элементами, совершенствовании своего курса, организации самостоятельной работы студентов, создании условий мотивирующих обучающихся на успешное освоение курса. Дисциплина и ответственность студентов связана с выполнением всех элементов курса в назначенные преподавателем сроки и подготовкой к итоговой аттестации.

**Ключевые слова:** ответственность, дисциплина, воспитательная работа, учебная среда Moodle.

Одной из главных задач современного образования является воспитание дисциплины и ответственности. В условиях университета воспитательная работа неразрывно связана с учебной и научной деятельностью, представляя собой единую систему [1].

Сначала определимся с понятиями. Ответственность – это необходимость, обязанность отвечать за свои действия, поступки, быть ответственным за них.

Мы все ответственны в первую очередь за себя, за свое будущее, за своих близких. Кроме того, каждый из нас ответственен за нашу работу, за наш университет, за успехи студентов, которых мы обучаем, и в конечном счете за наш город, страну и общество в целом.

В постоянно изменяющемся мире очень важно не плыть по течению, а принимать ответственные решения. Посмотрите, как за последние годы существенно изменились технологии хранения, обработки и передачи информации. Информация стала к нам «ближе», и получить ее можно почти мгновенно. Если раньше молодые люди поступали в университет, чтобы получить знания, потому что лучшие библиотеки, лучшие преподаватели – как источник информации, были в университете, то теперь учиться можно самостоятельно, целенаправленно выбирая дисциплины нужные именно вам. В связи с этим университеты вынуждены будут изменяться, и эти изменения уже начались.

С понятием ответственность тесно связано понятие – дисциплина. Дисциплина – это обязательное для всех членов какого-либо коллектива подчинение установленному порядку, правилам.

Многие технические специальности требуют

неукоснительного соблюдения правил безопасности, например правил пожарной безопасности. От этого зависит жизнь людей.

Теперь проанализируем, какие требования к выпускникам вузов предъявляют работодатели. При приеме на работу, в первую очередь, смотрят на ответственность и дисциплину молодых специалистов. Косвенно об ответственности можно судить по оценкам во вкладыше к диплому. Чем выше средний балл аттестата, тем более дисциплинированным является человек. Но это не всегда так. Поэтому многие компании приглашают студентов на работу или практику еще до получения ими диплома и сами оценивают их ответственность и компетентность.

В федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации» [2] расписаны обязанности обучающихся: «Студент обязан добросовестно осваивать образовательную программу, выполнять индивидуальный учебный план, в том числе посещать предусмотренные учебным планом или индивидуальным учебным планом учебные занятия, осуществлять самостоятельную подготовку к занятиям, выполнять задания, данные педагогическими работниками в рамках образовательной программы».

Но так ли важно посещать все занятия в современных условиях? Ведь многие студенты совмещают учебу с работой и не могут присутствовать на каждом занятии.

В настоящее время некоторые студенты в возрасте от 18 до 23 лет считают, что обучение в процессе реальной деятельности и в постоянном общении со старшими коллегами эффективнее, чем изучение в аудитории. Такие студенты, устраиваясь на практику на предприятия, нередко продолжают

работать и после нее уже в ходе нового семестра. Многие организации предоставляют студентам гибкий график работы и неполный рабочий день. Совмещение учебы и работы должно приветствоваться преподавателями и способствовать более качественному обучению специальности.

Девиз «Учись, работая!» может стать направлением в образовании тех университетов, которые имеют тесные связи с производством. Учась и работая, студент принимает на себя большую ответственность за качество своего обучения, и должен стать более дисциплинированным человеком.

И снова вернемся к федеральному закону «Об образовании в Российской Федерации»: «Педагогический работник обязан осуществлять свою деятельность на высоком профессиональном уровне, обеспечивать в полном объеме реализацию преподаваемых учебных предмета, курса, дисциплины (модуля) в соответствии с утвержденной рабочей программой».

В условиях, когда студенты совмещают учебу с работой, традиционный метод обучения становится неэффективным. В этом случае студенты, пропускающие занятия и консультации, вынуждены практически самостоятельно организовывать свою учебную деятельность, качество обучения при этом существенно ухудшается. В настоящее время на помощь преподавателю пришел образовательный портал, который является дополнительным средством взаимодействия студентов и преподавателя, а учебная среда Moodle становится критерием оценки дисциплины и ответственности всех участников образовательного процесса.

Ответственность преподавателя заключается в наполнении учебной среды необходимыми элементами, совершенствовании своего курса, организации самостоятельной работы студентов, создании условий, мотивирующих обучающихся на успешное освоение курса.

С помощью элемента «Лекция» студенты могут познакомиться с теоретическим материалом, представляемым преподавателем на аудиторных занятиях. Размещение слайдов презентации аудиторной лекции позволяет студентам заранее подготовиться к занятию и законспектировать материал. В результате сами аудиторные занятия становятся более плодотворными, а пропустившие лекцию студенты могут самостоятельно изучить представленный материал и дополнительную литературу. Доступность учебного материала в любое время дня и ночи значительно повышает ответственность студента, так как в этом случае студент не имеет никаких уважительных причин не выучить теоретический материал. Уже в лекциях можно размещать контрольные вопросы. Это позволяет студентам готовиться к тестам проме-

жуточной и итоговой аттестации. Причем при неправильном ответе на контрольный вопрос открывается страница с правильным ответом. Очень важно, чтобы лекции можно было изучать неограниченное количество раз, закрепляя знания постоянными повторениями.

Одним из основных элементов учебной среды Moodle является элемент «Задание». Он позволяет принимать работы студентов и оценивать их. Преподавателю теперь не надо собирать тетради для проверки выполненных заданий, и работа осуществляется на образовательном портале в удобное для студента и преподавателя время.

Для оценки качества усвоения теоретического и практического материала в электронной среде Moodle используется элемент «Тест». Элемент «Тест» показывает объективные знания студента на текущий период и в косвенной форме характеризует дисциплину и ответственность студента. Кроме того, банк вопросов позволяет создавать тесты для различных ситуаций и уровней подготовки студентов.

Элемент «Расписание» позволяет дисциплинировать студентов на посещение занятий. 10% баллов курса следует отводить на посещение занятий. В этом случае даже те студенты, которые учатся и работают, стараются не прогуливать занятия, чтобы получить эти баллы. Кроме того, в самом элементе существует градация: присутствовал; опоздал; уважительная причина; не был, что дисциплинирует обучающихся еще и в плане снижения количества опозданий.

Для мотивации студента необходимо постоянно поддерживать со студентами общение и размещать объявления о предстоящей и проделанной работе не реже 1 раза в неделю. Ведь многие студенты на младших курсах не могут принимать ответственность на себя, и им нужен постоянный внешний контроль.

В условиях совмещения учебы с работой очень важно, чтобы студенты имели возможность задавать вопросы преподавателю по интересующей или непонятной теме. Для этого в учебной среде Moodle удобно использовать элементы «Форум» и «Чат».

Для решения многих организационных вопросов «Чат» является эффективным средством общения. Договориться о консультации, решить вопросы с представлением и проверкой заданий – все можно через расположенный на образовательном портале чат.

Основополагающим инструментом для воспитания дисциплины и ответственности является хорошо продуманная рейтинговая система оценки. В ходе работы с курсом студент постоянно контролирует свой прогресс в изучении дисциплины по по-

лученным рейтинговым баллам. Это стимулирует студента быть более ответственным, принимать на себя новые обязательства при работе с курсом. Удобно придерживаться 100-балльной рейтинговой системы. Баллы за каждое задание складываются, и максимально можно набрать 100 баллов. Для успешной сдачи каждого конкретного задания студенту необходимо набрать половину от максимального количества баллов.

Очень важно, что все элементы на образовательном портале имеют контроль времени, это дисциплинирует не только студентов, но и преподавателя. Для воспитания ответственности студентов действенным механизмом является снижение баллов за не вовремя отправленное задание. Таким образом, в окончательной оценке студента будут отражаться не только полученные знания, но организованность и дисциплинированность студента, что очень важно для работодателей.

Дисциплина и ответственность студентов связана с выполнением всех элементов курса в

назначенные преподавателем сроки и подготовкой к итоговой аттестации. В условиях доступности обучения в любое удобное время, постоянной поддержки от преподавателя, индивидуального темпа изучения материалов, наблюдения за деятельностью других студентов группы повышается самооценка обучающихся и степень заинтересованности в успешном изучении курса.

Таким образом, студенты должны нести больше ответственности за свое обучение, а преподаватели должны быть лучше подготовлены, предложив студентам работу на образовательном портале в учебной среде Moodle.

#### Список литературы

1. Назарова О.Л., Ройтштейн И.А. Воспитательная работа и молодежная политика в вузе // Высшее образование в России. – 2011. – №10.– С. 88-92.
2. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 07.03.2018). – М., 2013.

#### Сведения об авторах

**Симонов Павел Семенович** – канд. техн. наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: p.simonov@magtu.ru

УДК 621.874

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КРАНОВ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

Кольга А.Д.<sup>1</sup>, Добрецких А.А.<sup>2</sup>, Филатов А.А.<sup>2</sup><sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск<sup>2</sup> АО «Магнитогорский ГИПРОМЕЗ», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Рассмотрено практическое применение магнитного метода контроля металлоконструкций пратцен кранов, отработавших нормативный срок службы, для определения их остаточного ресурса. Приведены данные магнитного контроля основных металлоконструкций пратцен кранов. Произведено подтверждение полученных результатов металлографической лабораторией. Установлено, что метод гарантирует наиболее объективный контроль остаточного ресурса металлоконструкций кранов и тем самым обеспечивает возможность реальной оценки срока эксплуатации подъемных сооружений.

**Ключевые слова:** металлоконструкции пратцен крана, магнитный метод, коэрцитивная сила, остаточный ресурс.

Отсутствие должного финансирования в совокупности с требованием владельцев предприятий к увеличению объемов производства привело к тому, что большое количество мостовых кранов отработало свой нормативный срок службы и требует замены. Однако бывает и так, что при проектировании кранов закладывались высокие запасы прочности и краны не всегда успевают их выработать.

Оценить текущее состояние крана и спрогнозировать возможность его дальнейшей безопасной работоспособности является актуальной задачей на сегодняшний день и решается с помощью экспертизы промышленной безопасности.

Прогнозирование работоспособности крана на основе экспертизы промышленной безопасности основывается на объективной оценке механических свойств металла основных металлоконструкций крана и контролем за фактическим режимом нагружения кранов. Использование прямых разрушающих методов исследования металлоконструкций трудоемко и неоперативно. Контроль по твердости характеризует состояние только наружных поверхностных слоев металла и не отличается высокой чувствительностью [3]. Ультразвуковой контроль сварных соединений оценивает качество швов, а не металла, по которому в основном происходит разрушение.

Как альтернатива, можно использовать методику оценки остаточного ресурса, которая базируется на применении метода неразрушающего магнитного контроля напряженно-деформированного состояния металла.

Основопологающим методом напряженно-деформированного состояния металла является эффект корреляции [1] между магнитными и физико-механическими свойствами, когда они одновременно зависят от одинаковых факторов: химического состава, пластической деформации, режима термической обработки, напряжений т. д. В процессе циклического нагружения при растяжении, сжатии, изгибе или кручении дефекты накапливаются в металле, собирают и хранят информацию о максимальных величинах действовавших нагрузок. В результате структура металла металлоконструкции выполняет функцию запоминания пикового значения силы. Для контроля магнитного параметра используется коэрцитивная сила  $H_c$ , она связана с остаточной пластической деформацией  $\mathcal{E}_{pl}$  при статической и циклическом нагружении металлоконструкций в процессе эксплуатации металлоконструкции.

Взаимосвязь при анализе магнитных и деформационных петель гистерезиса при циклическом нагружении представлена на рис. 1.

Контроль усталостной долговечности металлоконструкций грузоподъемных машин можно вести исходя из зависимостей между  $H_c$  и  $\mathcal{E}_{pl}$  по величине коэрцитивной силы.

Применяемые марки стали на грузоподъемных механизмах, отработавших нормативный срок службы, относятся к классу разупрочняемых, у них коэрцитивная сила  $H_c$  в состоянии поставки невысока и составляет от 2 до 5 А/см. Сравнительные данные основных марок сталей приведены в табл. 1 [1].

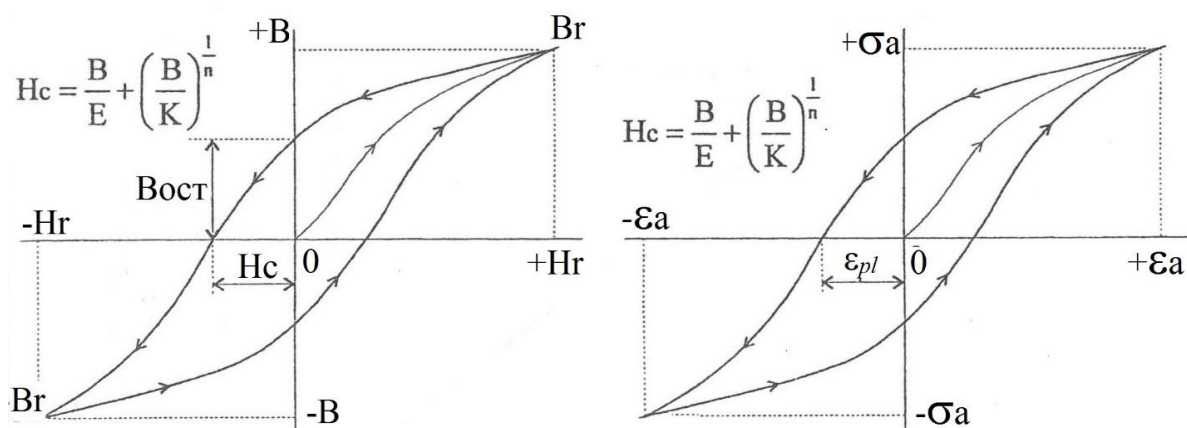


Рис. 1. Магнитная и деформационная петли гистерезиса:

 $H_c$  – коэрцитивная сила;  $B_{ост}$  – остаточная индукция; $K$  – циклический коэффициент напряжения; $\epsilon_{pl}$  – остаточная деформация;  $\sigma_a$  – амплитуда напряжения;  $n$  – циклический коэффициент упрочнения

Таблица 1

Магнитные и механические свойства некоторых сталей

ГОСТ	Марка стали	Механические свойства			Магнитные свойства	
		$\sigma_b$ , даН/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , даН/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$H_c^0$ , А/см	$H_c^{крит}$ , А/см
380-71	Ст1	30	20	24	2,0	6,0
380-71	Ст3	35	21	22	2,6-3,0	6,5
380-71	Вст3 сп2	34-40	22	26	2,3-3,2	6-7
1050-71	Ст20	42	26	25	3,5-4,8	13,5
19282-73	09Г2С	43	30		3,5-4,0	9,0
19282-73	09Г2С-12	45	31	18	2,5-3,5	9,5
19282-73	10ХСНД	54	40	19	4,5-5,0	12,5

В рамках данной работы было проведено определение остаточного ресурса мостовых (пратцен) кранов на одном из металлургических цехов. Рассматриваемые краны с номерами №9, 11, 22 установлены на участке обработки литевой заготовки и выполняют работы по складированию и дальнейшей транспортировке проката к нагревательным печам. Краны находятся в эксплуатации более 30 лет. Рабочим органом таких кранов является траверса с подхватами, имеющая возможность поворота вокруг своей оси.

На всех указанных выше кранах были проведены обследования и выполнен магнитный контроль напряженно-деформированного состояния основных металлоконструкций крана. Схемы расположения точек магнитного контроля (на главных балках, опорном круге, коробах направляющих траверсу) с результатами проведенных замеров коэрцитивной силы  $H_c$  по крану №22 представлены на следующих рис. 2, 3, 4 и в табл. 2, 3, 4. Значения превышающие критические выделены красным «жирным» цветом.

По двум другим кранам были проведены аналогичные работы, также были выявлены повышенные значения коэрцитивной силы.

Дальнейшая оценка остаточного ресурса контролируемых металлоконструкций производилась по наиболее «слабым» элементам, где были обнаружены повышенные значения коэрцитивной силы.

С помощью усталостной номограммы магнитного контроля был определен остаточный ресурс общей долговечности металла конструкции с вероятностью 90%.

Результаты оценки по всем кранам и металлоконструкциям сведены в табл. 5. Наименьший остаточный ресурс для обследуемых пратцен кранов был определен на коробах направляющих и составляет не более одного года. То есть с вероятностью 90% можно прогнозировать безаварийную работу металлоконструкций крана в паспортном режиме на этот срок.

Для подтверждения полученных результатов был осуществлен отбор пробы металла с короба направляющей крана №22, с места, где значение коэрцитивной силы было максимальным. Проба была отправлена на исследование в металлографическую лабораторию на химический анализ, марку стали и механическое исследование.

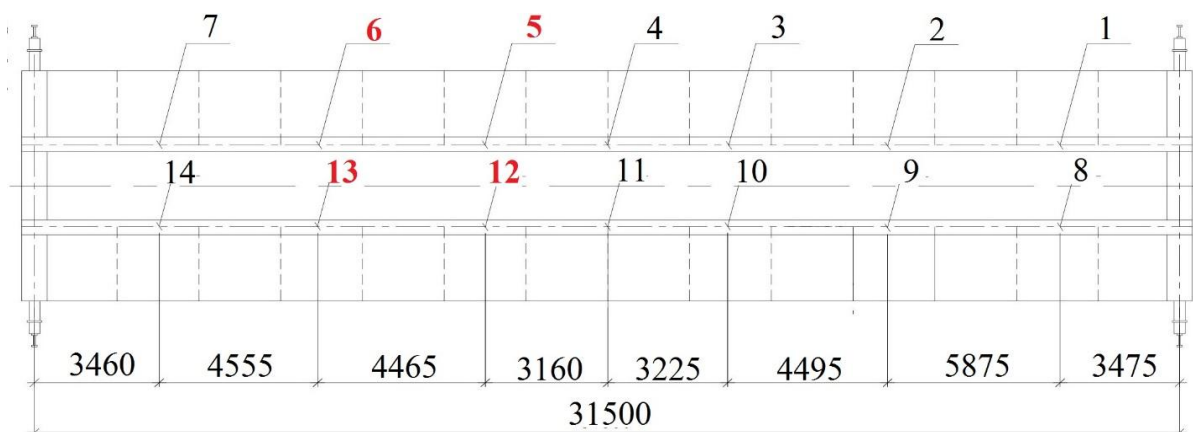


Рис. 2. Схема расположения точек контроля главных балок крана

Таблица 2

Результаты контроля главных балок пратцен крана

Номер разреза	Верхний пояс	Вертикальный лист	Нижний пояс
Приводная балка			
Разрез №1	4,80/4,67	3,91/4,26	5,07/6,57
Разрез №2	4,26/4,41	5,36/4,91	4,75/6,32
Разрез №3	5,10/5,93	5,30/5,12	4,68/5,05
Разрез №4	6,99/7,54	5,17/4,87	4,33/5,72
Разрез №5	<b>8,42/7,78</b>	<b>7,97/7,37</b>	6,14/6,91
Разрез №6	<b>8,01/7,54</b>	<b>6,32/7,71</b>	5,10/5,40
Разрез №7	6,27/5,98	5,35/4,48	4,72/5,72
Троллейная балка			
Разрез №8	3,62/4,12	4,11/4,37	5,28/6,36
Разрез №9	4,01/4,09	4,23/4,65	5,26/6,61
Разрез №10	5,21/4,73	5,29/5,20	5,92/5,96
Разрез №11	6,33/5,91	6,32/6,01	5,96/6,35
Разрез №12	<b>7,95/8,33</b>	<b>7,36/8,07</b>	6,90/6,54
Разрез №13	<b>7,07/7,81</b>	6,44/6,98	5,10/5,55
Разрез №14	5,42/6,47	5,81/4,80	4,55/4,59

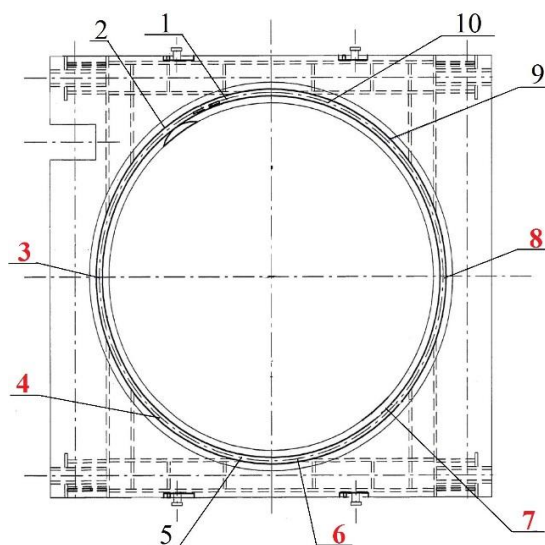


Рис. 3. Схема расположения точек контроля опорного круга тележки

Результаты контроля опорного круга тележки пратцен крана №22

Номер разреза	Верхний пояс	Вертикальный лист	Нижний пояс
Разрез №1	4,95/4,34	5,96/5,64	4,83/6,87
Разрез №2	4,26/4,71	6,28/5,55	6,92/6,44
Разрез №3	6,73/6,86	7,00/7,98	6,89/5,47
Разрез №4	4,20/4,78	5,71/5,85	6,24/7,96
Разрез №5	4,69/4,05	6,11/6,10	5,87/6,60
Разрез №6	5,35/4,19	8,01/8,46	7,75/8,21
Разрез №7	4,29/4,82	6,24/7,87	6,38/7,92
Разрез №8	4,57/5,36	7,31/7,88	6,39/5,48
Разрез №9	4,49/4,54	6,53/6,67	7,42/7,15
Разрез №10	4,23/4,57	6,41/6,88	6,27/5,12

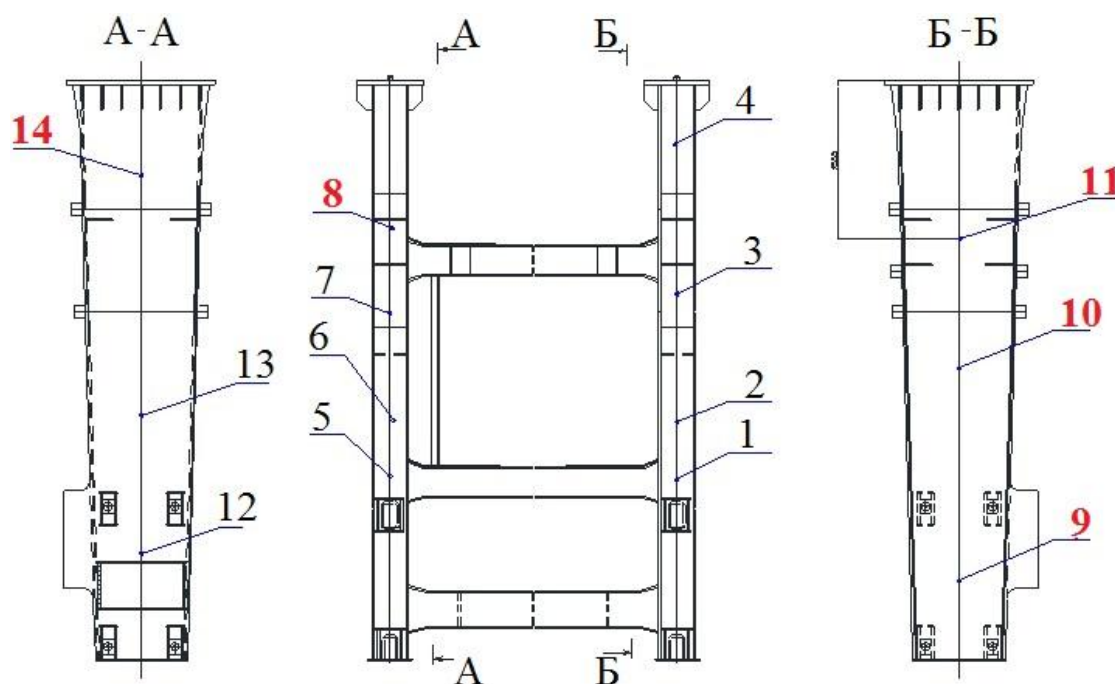


Рис. 4. Схема расположения точек контроля коробов направляющих

Результаты контроля коробов направляющих крана №22

$H_c, A/\text{см}$ (продольное/поперечное)				
Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
4,60/5,00	5,98/6,59	7,37/6,75	6,20/6,62	5,47/6,78
Точка 6	Точка 7	Точка 8	Точка 9	Точка 10
5,02/5,65	5,74/6,45	7,81/8,26	7,39/8,21	7,07/7,79
Точка 11	Точка 12	Точка 13	Точка 14	
8,52/7,03	5,87/4,39	5,34/6,99	7,78/7,91	



Результаты оценки остаточного ресурса кранов

Наименование данных	Кран №22	Кран №11	Кран №9
Режим работы	ВТ	ВТ	ВТ
Количество лет в эксплуатации	31	39	32
Марка стали	09Г2 ГОСТ 19281	09Г2 ГОСТ 19281	09Г2 ГОСТ 19281
Значение критической коэрцитивной силы $H_c^{крит}$ , А/см	9	9	9
Значение коэрцитивной силы поставки $H_c^0$ , А/см	3	3	3
Данные по мосту крана			
Максимальное значение коэрцитивной силы по замерам $H_{max}^c$ , А/см	8,42	8,49	8,09
Ресурс металлоконструкции Р, %	<b>3</b>	<b>2,6</b>	<b>6,9</b>
Остаточный ресурс $OP = C \cdot P$ , лет	0,93	1,01	2,24
Скорость роста коэрцитивной силы $A_H = (H_{max}^c - H_c^0)/C$ , (А/см)/год	0,175	0,141	0,159
Данные по поворотному кругу			
Максимальное значение коэрцитивной силы по замерам $H_{max}^c$ , А/см	8,46	8,10	8,34
Ресурс металлоконструкции Р, %	<b>2,8</b>	<b>7</b>	<b>3,5</b>
Остаточный ресурс $OP = C \cdot P$ , лет	0,87	2,73	1,12
Скорость роста коэрцитивной силы $A_H = (H_{max}^c - H_c^0)/C$ , (А/см)/год	0,176	0,131	0,167
Данные по коробам направляющих			
Максимальное значение коэрцитивной силы по замерам $H_{max}^c$ , А/см	8,52	8,59	8,45
Ресурс металлоконструкции Р, %	<b>2,5</b>	<b>2,4</b>	<b>2,8</b>
Остаточный ресурс $OP = C \cdot P$ , лет	0,78	0,94	0,9
Скорость роста коэрцитивной силы $A_H = (H_{max}^c - H_c^0)/C$ , (А/см)/год	0,178	0,143	0,170

Химический анализ определил, что представленный образец соответствует марки стали 09Г2С, ее паспортным данным.

Исследование на ударную вязкость после механического старения показало результаты меньшие, чем допустимые для стали 09Г2 (не менее 29 Дж/см<sup>2</sup> [2]).

По результатам работы владельцем кранов принято решение об их демонтаже и приобретении новых пратцен кранов в период спрогнозированного остаточного ресурса.

Таким образом, магнитный метод контроля является перспективным при использовании на объектах, подконтрольных Ростехнадзору. В сочетании с системой регистрации режима нагружения метод гарантирует наиболее объективный контроль остаточного ресурса металлоконструк-

ций кранов и тем самым обеспечивает возможность реальной оценки срока эксплуатации подъемных сооружений.

#### Список литературы

1. Методические указания РД ИКЦ «Кран» 007-97-02. Магнитный контроль напряженно деформированного состояния металлоконструкций.
2. ГОСТ 19282-73. Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная. Технические условия. – М., 1974.
3. Дубов А.А., Маннанов Т.Г., Хафизов Ф.М. Краны грузоподъемные. Контроль неразрушающий: методические указания по магнитному контролю металлоконструкций грузоподъемных машин. – Казань, 2007. – 62 с.

#### Сведения об авторах

**Кольга Анатолий Дмитриевич** – проф., зав. кафедрой ГМиТТК, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: kad-55@magtu.ru

**Добрецких Алексей Александрович** – инженер отдела ПТМ АО «Магнитогорский ГИПРОМЕЗ», магистрант кафедры ГМиТТК ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Филатов Андрей Анатольевич** – инженер, зав. группы отдела ПТМ, АО «Магнитогорский ГИПРОМЕЗ», магистрант кафедры ГМиТТК ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 669.054.82.622.765

## ОСОБЕННОСТИ ФЛОТАЦИИ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СОБИРАТЕЛЯ\*

Сабанова М.Н.<sup>1</sup>, Орехова Н.Н.<sup>2</sup>, Горлова О.Е.<sup>2</sup><sup>1</sup> Сибайский филиал АО «Учалинский ГОК», г. Сибай<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Применение при флотации труднообогатимого техногенного сырья, к которому относятся пиритсодержащие медеплавильные шлаки, более селективных собирателей из класса диалкилдитиофосфатов в сочетании с бутиловым ксантогенатом позволяет наиболее эффективно решать вопросы повышения извлечения металлов в концентрат. В результате проведенного исследования установлены основные технологические особенности применения дополнительного собирателя марки БТФ в композиции с бутиловым ксантогенатом калия при флотации шлака. Использование композиции собирателей БКК и БТФ-1614 в соотношении 3:1 предпочтительнее при флотации шлака, измельченного в слабокислой среде ( $\text{pH}_{\text{изм.}}=6,5-6,8$ ,  $\text{pH}_{\text{флот.}}=5,5-6,0$ ) при суммарном расходе собирателей 200 г/т. В этом случае получены достаточно высокие показатели извлечения меди (85,13%), золота (60,25%) и серебра (72,92%) в концентрат.

**Ключевые слова:** техногенное сырье, флотация, медь, золото, дополнительный собиратель.

### Введение

Технологические схемы и реагентные режимы селективной флотации техногенного сырья в основном базируются на схемах и режимах флотационного обогащения генетически связанных с этим отходом руд. Для флотации шлаков медной плавки, как и для флотации сульфидных и благородных руд цветных металлов, на практике широко используются сульфидрильные собиратели [1,2]. Наибольшее применение получили ксантогенаты, обладающие высокими собирательными свойствами ко всем сульфидным минералам, в том числе к сульфидам железа.

Техногенный пирит присутствует в шлаках и, как правило, с ним в агрегатах находятся техногенные сульфиды меди. При плавке золотосодержащих медных руд золото в основном переходит в металл, в шлаках его остается очень мало [3]. Но и оставшееся в шлаках золото, вероятно, тоже ассоциировано с медьсодержащими фазами. Для повышения технологических показателей флотации сегодня проводят медленное охлаждение шлака и ультратонкое измельчение [1,2], но и в этом случае применение в качестве собирателя одного ксантогената не всегда позволяет достаточно полно извлечь ценные компоненты, что связано с наличием в шлаке помимо сульфидных ещё и других медьсодержащих фаз, которые по классификации минера-

лов могут быть отнесены к окисленным, вторичным и самородным. Флотация шлака только ксантогенатом может являться причиной и недостаточной селекцией, поскольку шлак в значительных количествах содержит фаялит, имеющий в своей структуре ионы железа, а следовательно, возможность закрепления на нем ксантогената. Также при окислении техногенных фаз в жидкую фазу пульпы переходят катионы железа, которые сорбируются нерудной составляющей шлака, тем самым активируя её для ксантогената.

Для улучшения показателей флотации руд применяют дополнительные собиратели. Такой же подход применим и к техногенному сырью.

Аналитический обзор по применению сочетаний собирателей для повышения извлечения цветных и благородных металлов, снижению разубоживания концентратов свободным пиритом и активированными железом, нерудными минеральными фазами показал, что в России для этих целей чаще всего используют реагенты серии БТФ, созданные на основе растворимых солей диалкилдитиофосфата.

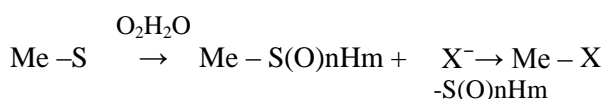
Диалкилдитиофосфаты, или аэрофлоты, являются тионопроизводными эфиров диалкилфосфиновых кислот, у которых атомы кислорода замещены на серу. Они получают в результате взаимодействия пентасернистого фосфора со спиртами при температуре 50–80°C с последующей нейтрализацией образовавшейся дитиофосфорной кислоты поташом, содой или углекислым аммонием. В полярную группу дитиофосфатов входят сера

© Сабанова М.Н., Орехова Н.Н., Горлова О.Е., 2018

\*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания 5.8708.2017/8.9.

и фосфор. Общая формула диалкилдитиофосфатов  $(RO)_2PS_2Me$ , где R – алифатический радикал, Me –  $K^+$ ,  $Na^+$  или  $NH_4^+$ .

Спиртовые дитиофосфаты являются более селективными собирателями, чем ксантогенаты, при переработке медно-пиритных, медно-цинково-пиритных руд, так как являются слабыми собирателями для пирита, иногда их применяют в сочетании с ксантогенатами [4]. В случае применения при флотации композиций собирателей механизм их взаимодействия с поверхностью минералов изменяется и определяется активностью каждого компонента [5]. Флотационные свойства БТФ обусловлены флотационной активностью дитиофосфиновых и дитиофосфорных кислот. Удаление атомов кислорода, например в фосфонатах  $R_1R_2OPSS$  и фосфинатах  $R_1R_2PSS$ , повышает их активность по сравнению с дитиофосфатами примерно на один порядок на каждый удаленный атом кислорода. Повышение флотиремости минералов, наблюдаемое при переходе от моно-тиоокислот к дитиоокислотам фосфора, связано с влиянием электронодонорных заместителей на увеличение эффективного отрицательного заряда на атомах серы, ответственного за взаимодействие с катионами металла [6]. Взаимодействие диалкилдитиофосфатов (аэрофлоты) с ионами поверхности сульфидных минералов происходит по донорно-акцепторному механизму, который можно представить схемой [7]:



$Me - OH + X^- \rightarrow Me - X + OH^-$  (адсорбция или гетерогенная реакция);

$Me - A + X^- \rightarrow Me - X + A^-$  (гетерогенная реакция), где  $A^-$  – анион кристаллической решетки минерала.

Флотореагенты марки БТФ синтезированы ЗАО «Механобр-Оргсинтез-Реагент» (г. Санкт-Петербург), производятся ЗАО «Квадрат плюс» по ТУ 2452-001-51848149-00 и содержат в своем составе в качестве одного из основных компонентов диалкилдитиофосфаты натрия. Широкий ассортимент разработанных модификаций реагента включает как наиболее селективные (БТФ-1541, БТФ-1522, БТФ-1552), обладающие меньшей поверхностной активностью на границе жидкость–газ, так и с наибольшей собирательной силой (БТФ-163) для расширения технологических возможностей применения [8].

По характеристикам производителя наиболее подходящими для повышения показателей извлечения цветных и благородных металлов из пирит-

содержащих шлаков могут быть реагенты БТФ модификаций 163, 1614, 1624, 1522, 1541, 1552. Все реагенты представляют собой водный раствор диалкилдитиофосфата натрия с различной массовой долей основного вещества и специальными добавками. Основными задачами при изучении возможности интенсификации процесса флотации шлака с применением в качестве дополнительного собирателя реагента БТФ являются установление оптимальной модификации реагента и соотношение его с основным собирателем бутиловым ксантогенатом калия (БКК) в композиции.

### Материалы и методика исследований

Исследования проводились с использованием пробы отвального шлака Медногорского медно-серного комбината. Подготовка включала дробление пробы в замкнутом цикле с грохочением на установке, включающей щековые дробилки ШД-20, ШД-6 и валковую дробилку ВЛД-10 до крупности -3 мм, сокращение дробленого материала с выделением технологической пробы, её дубликата, проб на минералогический и химический анализы. Измельчение материала перед флотацией осуществлялось в шаровой лабораторной мельнице 40МЛ-Е с объемом барабана 7 дм<sup>3</sup>.

Флотационные опыты проводились в открытом цикле по схеме, включающей операции: медная «головка», перечистка концентрата медной «головки», основная флотация, контрольная флотация на флотационных машинах 240 ФЛ и 189 ФЛ.

Постоянные условия проведения опытов представлены в табл. 1

Таблица 1

Постоянные условия проведения опытов

Параметр	Обозначение, ед. изм	Значение
<i>Измельчение</i>		
Соотношение руды, воды и шаровой загрузки	Т:Ж:Ш	1:1:20
Масса навески медного шлака	Q, г	700
Тонина помола – по классу – 0,044 мм	β, %	98,5
<i>Флотация</i>		
Содержание твердого в пульпе	p, %	28
Концентрация свободного СаО в оборотной воде	C, г/м <sup>3</sup>	450–480
pH оборотной воды		12,0–12,5
Продолжительность операций:		
медная «головка»	T, мин	3
основной флотации		20
контрольная флотация		15

Переменными условиями были рН среды в измельчении и во флотации, суммарный расход композиции собирателей и соотношение в ней БКК и БТФ. Изменение рН достигалось дозированием серной кислоты в оборотную воду.

### Результаты и их обсуждение

Результаты предварительных исследований [9], целью которых являлось определение рН среды, оптимального для флотации пиритсодержащих шлаков, к которым относится используемая в описываемом исследовании проба, показали, что значительно большее извлечение меди в концентрат – 84,05% (против 73,92% в сильнощелочной среде) и соответственно меньшие потери с отвальными хвостами достигаются при рН 6 в измельчении и флотации (рис. 1).

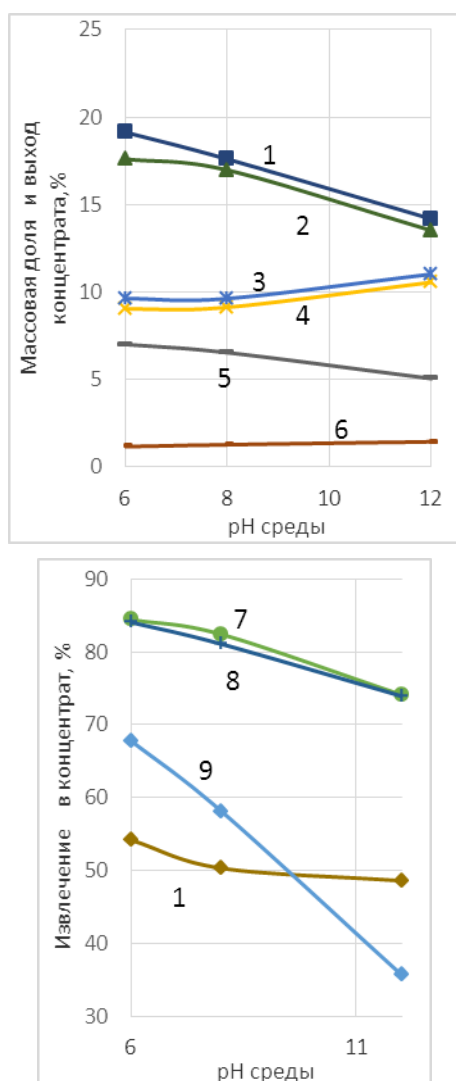


Рис. 1. Результаты флотации при изменении рН только в операции флотации (2, 4, 5, 8, 10) и в операциях измельчения и флотации (1, 3, 6, 7, 9):  
1, 2 – выход концентрата; 3, 4 – массовая доля меди;  
5, 6 – массовая доля серы; 7, 8 – извлечение меди;  
9, 10 – извлечение серы

Повышение извлечения меди сопровождается повышением извлечения серы, содержание которой в исходной пробе составляет 1,87%, что связано с интенсификацией флотиремости пирита, который в шлаках данного типа находится в ассоциации с медьсодержащими сульфидами [10]. Изучение влияния модификации БКК и соотношения основного и дополнительного собирателей при суммарном расходе 300 г/т на извлечение меди в щелочной среде показало, что в сравнении с извлечением меди одним бутиловым ксантогенатом (400 г/т) подача во флотационный процесс дополнительного собирателя позволяет снизить общий расход композиции (рис. 2).

При этом возрастает как выход медьсодержащих фаз в пенный продукт в начале фронта флотации, так и выход общего медного концентрата. Наиболее высокие показатели извлечения меди получены при соотношении основного и дополнительного собирателей в композиции 2 к 1 и 3 к 1. Для дальнейших опытов выбрана модификация БТФ-1614, при использовании которой получено самое высокое значение извлечения меди при соотношении с БКК 3:1. Открытыми флотационными опытами (рН 6 в измельчении и флотации) подтверждена интенсификация извлечения меди в концентрат для всех выбранных дополнительных собирателей (табл. 2).

В опытах кроме распределения меди изучено распределение железа общего и серы сульфидной между продуктами обогащения (табл. 3). Увеличению извлечения меди в концентрат сопутствует и рост извлечения железа и серы, то есть в концентрат переходят сростки пирита с техногенными медьсодержащими фазами шлака, в том числе с цементной медью капсулированной в пирите, как показано в работах [9, 10].

Предполагая, что и благородные металлы, как правило, сопутствуют техногенным сульфидам железа, при постановке замкнутых опытов изучено распределение золота и серебра между продуктами флотации шлака.

По сравнению с показателями флотации шлака только бутиловым ксантогенатом калия при использовании комбинации собирателей наблюдается повышение извлечения металлов. Извлечение в медный концентрат увеличилось: Cu на 0,91%, Au на 6,07% и Ag на 0,54%, при снижении выхода сульфидного концентрата на 1,13%.

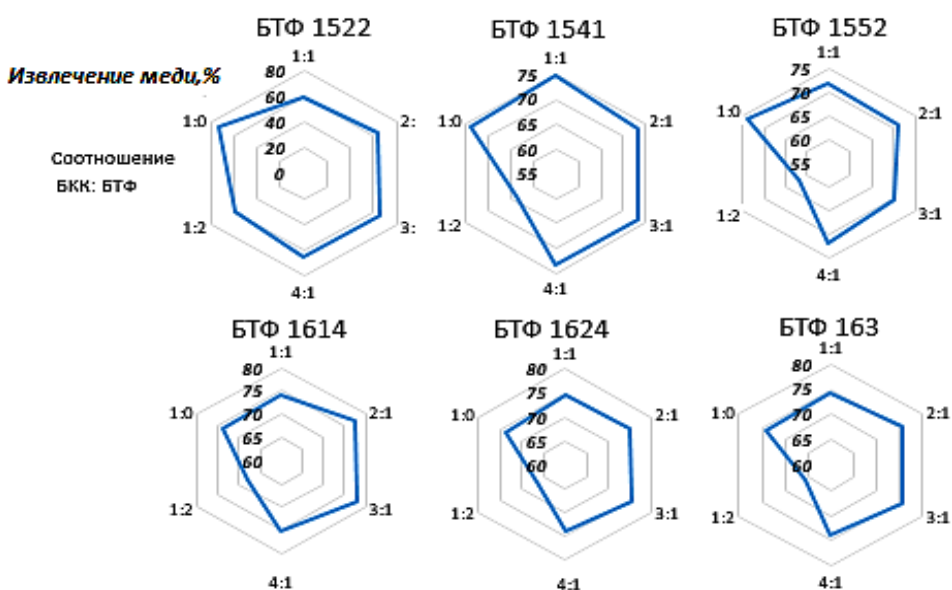


Рис. 2. Влияние модификации и соотношения собирателей в композиции на извлечение меди в концентрат

Таблица 2

Результаты замкнутых опытов с применением БКК и комбинации БКК :БТФ 1614 = 3:1  
( $pH_{изм}=6,5-6,8$ ,  $pH_{флот}=5,5-6,0$ )

Номер опыта	Наименование продукта	Выход, %	$\beta^{Cu}$ , %	$\beta^{An}$ , г/т	$\beta^{Ag}$ , г/т	$\epsilon^{Cu}$ , %	$\epsilon^{An}$ , %	$\epsilon^{Ag}$ , %	Расход собирателя
1	<b><math>\Sigma</math> Си конц-т</b>	<b>19,14</b>	<b>9,02</b>	<b>1,15</b>	<b>40,2</b>	<b>84,22</b>	<b>54,18</b>	<b>72,38</b>	БКК 400 г/т
	Отвальные хвосты	80,86	0,40	0,23	3,45	15,78	45,82	27,62	
	Шлак исходный	100	2,05	0,41	10,10	100,0	100,0	100,0	
2	<b><math>\Sigma</math> Си конц-т</b>	<b>18,01</b>	<b>9,65</b>	<b>1,38</b>	<b>42,9</b>	<b>85,13</b>	<b>60,25</b>	<b>72,92</b>	БКК+БТФ 200 г/т
	Отвальные хвосты	81,99	0,37	0,2	3,53	14,86	39,75	27,08	
	Шлак исходный	100	2,04	0,41	10,59	100,0	100,0	100,0	

Таблица 3

Результаты извлечения меди, серы, железа в продукты обогащения при  $pH_{изм}=6,5-6,8$  и  $pH_{флот}=5,5-6,0$

Номер опыта	Наименование продукта	Выход, %	$\beta^{Cu}$ , %	$\beta^S$ , %	$\beta^{Fe}$ , %	$\epsilon^{Cu}$ , %	$\epsilon^S$ , %	$\epsilon^{Fe}$ , %	Расход
1	<b><math>\Sigma</math>гр Си конц-т*</b>	<b>17,6</b>	<b>9,62</b>	<b>7,00</b>	<b>42,2</b>	<b>84,05</b>	<b>67,8</b>	<b>17,88</b>	БКК 400 г/т
	Отвальные хвосты	82,4	0,39	0,7	41,4	15,95	32,2	82,12	
	Шлак исходный	100	2,01	1,82	41,54	100	100	100	
2	<b><math>\Sigma</math>гр Си конц-т</b>	<b>18,3</b>	<b>9,27</b>	<b>7,03</b>	<b>41,12</b>	<b>84,53</b>	<b>68,92</b>	<b>18,2</b>	БКК+ БТФ 1614 200 г/т
	Отвальные хвосты	81,7	0,38	0,71	41,5	15,47	31,08	81,8	
	Шлак исходный	100	2,01	1,87	1,44	100	100	100	

\* Суммарный грубый концентрат составляют концентрат перераспределения медной «головки» и концентрат основной флотации.

### Выводы

Реагенты марки БТФ находят все более широкое применение при флотации медьсодержащего минерального сырья природного происхождения, что позволяет - прогнозировать их эффективность и при использовании в реагентных режимах флотации техногенного сырья.

Установлено, что композиция сульфидрильных собирателей на основе сильного собирателя бутилового ксантогената калия и более слабого, но селективного собирателя из класса диалкилдитиофосфатов обеспечивает интенсификацию флотационного извлечение меди из техногенного сырья – медных шлаков.

Наилучшие результаты достигнуты при использовании реагента модификации БТФ-1614 в качестве дополнительного собирателя в комбинации с бутиловым ксантогенатом калия при трехкратном превышении содержания ксантогената. Использование композиции собирателей предпочтительнее при флотации шлака, измельченного в слабокислой среде. В этом случае получены достаточно высокие показатели извлечения меди и благородных металлов в концентрат.

### Список литературы

1. Повышение технологических показателей обогащения при переработке медных шлаков / Г.И. Газалеева, С.В. Мамонов, М.М. Сладков, А.В. Кутепов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2016. – №3. – С. 18-22.
2. Совершенствование технологии переработки отвальных шлаков медеплавильного производства / С.В. Мамонов, Г.И. Газалеева, Т.П. Дресвянкина, С.В. Волкова // Обогащение руд. – 2018. – № 1. – С. 38-42.
3. Звягинцев О. Е. Геохимия золота. – Рипол Классик, 2013.

4. Хан Г.А., Габриелова Л.И., Власова Н.С. Флотационные реагенты и их применение. – М.: Недра, 1986. – 271 с.
5. Bocharov V. A., Ignatkina V. A., Alekseichuk D. A. Influence of mineral compositions and their modification on the selection flowchart and collectors of selective flotation of ores of nonferrous metals // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2012. – Vol. 53. – №. 4. – P. 279-288.
6. Соложенкин П. М. Создание и прогнозирование свойств эффективных, малотоксичных флотационных реагентов на основе квантово-механических представлений с целью комплексного извлечения цветных и благородных металлов // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – 2013. – №. 1. – С. 1-120.
7. Рябой В.И. О поверхностных реакциях флотореагентов с минералами на основе их донорно-акцепторного взаимодействия // Обогащение руд. – 2008. – №. 6. – С. 24.
8. Новые диалкилдитиофосфаты для флотации медь-, золото- и серебросодержащих руд / В.И. Рябой, Е.Д. Шепета, В.П. Кретов, В.В. Голиков // Обогащение руд. – 2014. – №1. – С.29-33.
9. Shadrinova, I., Sabanova, M., Orekhova, N., Gorlova, O. Efficiency of use of collecting agents for increase of extraction values by copper, gold and silver flotation from complex slags of coppersmelting production // Metallurgical and mining industry. – 2016. – №. 7. – P. 69-75.
10. Сабанова М.Н., Орехова Н.Н., Горбатова Е.А. Технологическая минералогия медных шлаков // Минералогия техногенеза. – 2015. – №. 16. – С. 107-114.
11. Флотация медных шлаков в условиях замкнутого водооборота обогатительной фабрики / Сабанова М.Н., Шадрюнова И.В., Орехова Н.Н., Горлова О.Е. // Цветные металлы. – 2014. – №. 10. – С. 16.
12. Типизация медных шлаков Уральского региона, практика и перспективы флотационной переработки на действующих обогатительных фабриках / Сабанова М.Н., Савин А.Г., Шадрюнова И.В., Орехова Н.Н. // Цветные металлы. – 2013. – № 8. – С. 14-19.

### Сведения об авторах

**Сабанова Маргарита Николаевна** – канд. техн. наук, начальник исследовательской лаборатории Сибайского филиала АО «Учалинский ГОК», г. Сибай, Башкортостан. E-mail: m\_sabanova@mail.ru

**Орехова Наталья Николаевна** – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: n\_orehova@mail.ru.

**Горлова Ольга Евгеньевна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: gorlova\_o\_e@mail.ru.

УДК 622.647:622.271.333

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА РАЗМЕЩЕНИЯ КОНВЕЙЕРА НА НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОРОДАХ НЕРАБОЧЕГО БОРТА КАРЬЕРА

Бурмистров К.В., Головей С.И.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Главной задачей усовершенствования технологической схемы транспортирования горной массы на глубоких высокопроизводительных карьерах на ближайшую перспективу будет является проектирование конвейерного транспорта. Конвейерный транспорт обладает преимуществами, такими как высокая производительность, относительно низкие затраты на транспортирование горной массы, большие углы подъёма горной массы и пр. При этом горнодобывающие предприятия, работающие длительное время, у которых не были изначально запроектированы конвейерные подъемники, лишь с увеличением производительности и затрат на транспортирование стали переходить на циклично-поточную технологию (ЦПТ). В связи с этим актуальной является задача развития транспортной схемы с применением ЦПТ на высокопроизводительных карьерах, которая могла бы вписываться в существующую схему вскрытия и эффективно эксплуатироваться в течение расчетного срока существования карьера. В работе представлены исследования по оценке возможности установки конвейерного подъемника на свайный фундамент в сложных горно-геологических условиях карьера.

**Ключевые слова:** карьер, реконструкция, проектный контур, конвейер, конвейерный подъемник, дробилка, свайный фундамент, транспорт, циклично-поточная технология, эффективность, экономическая эффективность.

Ярким примером сложных горно-геологических условий ведения работ является Качарский карьер, в котором при визуальном обследовании фактического состояния бортов, проведенном специалистами предприятия и представителями проектной организации, было выявлено следующее [9]:

- уступы Западного борта, поставленного в конечном положении ещё в период строительства карьера, находились в неудовлетворительном состоянии, подвержены многочисленным обрушениям и оползням, которые в отдельных местах привели к сдвиганию уступов и трещинам вдоль северо-западной части борта карьера;

- на заоткошенных участках горизонта +183 м Южного борта, в местах выхода линз олигоценых песков, наблюдаются оползневые явления, имеющие тенденцию к своему развитию;

- все откосы в той или иной степени испытывают влияние ливневых и паводковых вод, под воздействием которых образовались промоины, способствующие переувлажнению уступов.

Процессы переувлажнения уступов и постоянной угрозы деформаций проявляются не только на верхних уступах карьера.

Горно-геологические условия месторождения характеризуются тем, что верхние слои бортов ка-

рьера сложены рыхлыми слабоустойчивыми породами. Отдельные горизонты сложены чеганскими и аргиллитоподобными глинами. Вскрышные скальные породы горизонтов +30 м ÷ -150 м сильнотрещиноватые и выветрелые в различной степени; горизонт +183 м представлен суглинками, глинами песчанистыми, с прослоями мелкозернистого кварцевого песка, песками кварцевыми, мелкозернистыми, глинистыми; горизонты +170, +157 м представлены глинами листоватыми, оливково-зелёного и зеленовато-серого цвета, пластичными, с тонкими прослоями тонкозернистого слюдисто-кварцевого песка; горизонт +69 м (Юго-Восточный борт) характеризуется наличием в откосе слабообводнённого косослоистого песка, что совместно с действием дождевых и паводковых вод послужило причиной оползня. Наличие в откосе слабообводнённого туронского песка на горизонте +45 м (Юго-Восточный борт карьера) вызвало оплывание нижней части уступа.

В настоящее время глубина Качарского карьера составляет 438 м. Проектная глубина карьера на конец отработки составит 670 м. В связи с ростом производительности предприятия и перехода карьера в категорию глубоких, эффективность эксплуатации железнодорожного и автомобильного транспорта в настоящее время существенно снижается. Один из путей повышения экономической работы глубоких карьеров — это примене-

ние циклично-поточной технологии (ЦПТ). Циклично-поточная технология используется в карьерах при разработке железорудных, меднорудных, фосфатных, угольных месторождений, а также на карьерах нерудных полезных ископаемых во многих странах мира. Как показывает анализ Авдеева П.Б., канд. техн. наук, для любых глубин карьера теоретически лучшим вариантом является применение конвейерного транспорта. На рис. 1 показана зависимость расхода энергии на подъем 1 т горной массы для различных типов транспорта от глубины карьера [2].

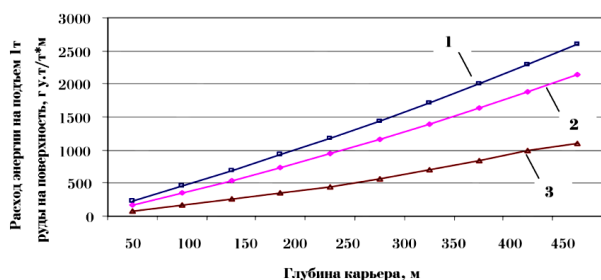


Рис. 1. Зависимость расхода энергии на подъем 1 т горной массы для различных типов транспорта от глубины карьера: 1 – автомобильный транспорт; 2 – железнодорожный транспорт; 3 – конвейерный транспорт

Рациональная транспортная схема, принятая при доработке Качарского месторождения в определенный период эксплуатации, могла бы не только повысить технико-экономические показатели открытых горных работ, но и эффективно использоваться при дальнейшей доработке месторождения подземным способом. При этом размещение конвейера осуществляется на нерабочем или временно нерабочем борту карьера в крутой траншее или на опорах, смонтированных на предохранительных бермах скальных и полускальных пород. Такая эксплуатация конвейеров не подходит для сложных горно-геологических условий, когда борта карьера сложены неустойчивыми породами.

Как видно из рис. 1, расход энергии на подъем на поверхность горной массы наиболее экономичен для конвейерного транспорта и наиболее затратен для автомобильного транспорта [2]. Это связано с увеличением расстояния транспортирования горной массы из карьера и соответствующим ростом затрат на транспортировку. Эффективным решением в данных условиях является ввод энергоэффективного транспорта, например конвейерного. Данное решение было предусмотрено в проекте реконструкции карьера. Переход на циклично-поточную технологию позволяет сократить грузовую работу автосамосвалов путём уменьшения плеча откатки горной массы с глубоких горизонтов карьера, а также уменьшить объёмы перевозок же-

лезнодорожным транспортом, вплоть до полного отказа от его использования [1].

Использование данной технологии на глубоких рудных карьерах, разрабатывающих скальные горные породы, предусматривает обязательное наличие дробильных установок.

Применение карьерных дробильно-перегрузочных установок (ДПУ) в составе ЦПТ означает перенос крупного дробления в карьер. В этом случае установки работают в специфических условиях, существенно отличающихся от условий работы в составе дробильно-обогачительных фабрик. Первичное дробление пород в карьере может осуществляться на стационарных, полустационарных и мобильных дробильных установках (см. таблицу) [3].

В России и странах ближнего зарубежья наибольшее распространение на карьерах получили стационарные дробильно-перегрузочные пункты. Из внедренных в последнее время на карьерах схем с ЦПТ положительный опыт использования таких ДПП имеется на Михеевском ГОКе, Оленегорском ГОКе и др. Однако у стационарных ДПП есть существенные недостатки, вызванные отсутствием возможности их переноса по мере углубления карьеров, а также продолжительными сроками их строительства и согласования проектной документации. Применение мобильных ДПП нельзя рассматривать в качестве достойной альтернативы стационарным ДПП для высокопроизводительных карьеров, так как они обладают сравнительно низкой производительностью. Одним из перспективных видов оборудования для данных целей является использование полустационарных дробильных установок, когда местоположение дробильного оборудования меняется через определенные промежутки времени. Обладая значительно большей мощностью по сравнению с мобильными установками, полустационарные дробильные установки оснащаются загрузочной воронкой, загрузочным, разгрузочным и передаточным конвейерами и оснащаются роторными, щековыми, конусными и другими дробилками. С целью экономии инвестиционных средств этот вид дробильных установок не имеет собственной тяги и транспортируется к новому местоположению трейлерами на передвижных тележках или перемещается волочением на полозьях. Для уменьшения нагрузки на транспортные средства высокопроизводительные полустационарные дробильные установки изготавливаются в исполнении, позволяющем разбирать их для перемещения по мере необходимости. Производительность полустационарных ДПУ может достигать более 10 000 т/ч, максимальная начальная крупность кусков – до 1500 мм, а коэффициент дробления достигает 1:5 [3].



Характеристики оборудования

Пункты	Тип	Технологическая схема переработки в зависимости от типа оборудования	Характеристики основного оборудования	Условия применения
Стационарные	I	Дробильные Грохотильно-дробильные	Дробилки различного типа	Перегрузочные пункты на ДОФ или на заводе
Полустационарные внутрикарьерные	II	Дробильные Грохотильные Грохотильно-дробильные Экскаваторные	Дробилки различного типа Грохоты-дробилки Экскаваторы – прямая лопата, роторные перегружатели	Перегрузка горной массы внутри карьера на концентрированных горизонтах по глубине карьера
Модульные переносные и передвижные внутрикарьерные	III	Дробильные Грохотильные Грохотильно-дробильные Экскаваторные	Дробилки различного типа Грохоты-дробилки Экскаваторы – прямая лопата, роторные перегружатели	Перегрузка горной массы на стационарный подъемный конвейер или на временные выносные конвейера внутри карьера
Буферные временные склады около подъемных конвейеров и их перегрузочных пунктов	IV	Экскаваторные	Одноковшовые экскаваторы – прямая лопата, роторные перегружатели	Перегрузка горной массы с обеспечением сглаживания неравномерности работы автомобильного и конвейерного транспорта, а также обеспечения перегрузки отдельных сортов горной массы

Одним из примеров реализации ЦПТ с полустационарными дробилками является проект для карьера АО «Васильковский ГОК» г. Алтынтау, Казахстан. Комплекс оборудования предназначен для приема и дробления рядовой рудной массы, транспортирования и подачи дробленого продукта на обогатительную фабрику подъемными и магистральными конвейерами (рис. 2).

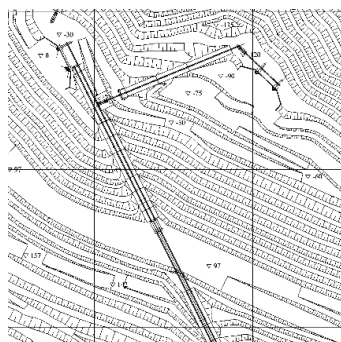


Рис. 2. Схема установки конвейерной линии и дробилки на Качарском железнорудном месторождении по проекту Гипроруда

Предлагаемая в работе технологическая схема повлияет на конструкцию нерабочего борта, а соответственно, и на динамику развития рабочей зоны. Поэтому был выполнен горно-геометрический анализ по оценке изменения объемов добычи полезного ископаемого и выемки вскрышных пород по существующему варианту проекта для ССГПО и предлагаемому варианту. Результаты горно-геометрического анализа представлены на рис. 3.

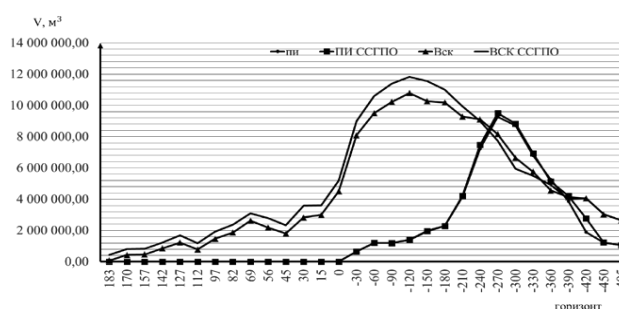


Рис. 3. График зависимости объемов вскрыши и полезного ископаемого по горизонтам карьера

Результаты выполненного горно-геометрического анализа показали, что предлагаемый вариант размещения конвейерного подъемника оказывается более выгодным и по горнотехническим условиям, так как в разработку вовлекаются участки карьера, на которых предполагалось размещение перегрузочных пунктов конвейера, что позволяет добыть дополнительные объемы руды без увеличения производительности по вскрыше.

С целью обеспечения устойчивости конструкции конвейерного подъемника, предотвращения появления новых признаков оползневых явлений, обеспечения безопасных условий эксплуатации и сокращения затрат на транспортирование горной массы рассмотрена возможность строительства конвейерного подъемника на свайном фундаменте.

Расчёт свай производится на вдавливающую нагрузку в соответствии с рекомендациями [5-8]. В расчётах учитывалось совместное действие вертикальной и горизонтальной сил и момента при установке конвейерной линии, а также сейсмического воздействия на сваю при производстве буровзрывных работ на карьере. При расчёте одиночных свай на совместное действие вертикальной и горизонтальной сил и момента расчёты проводились в соответствии со схемой, приведённой на рис. 4.



Рис. 4. Схема нагрузок на сваю

Принятый вариант размещения конвейера на борту, помимо своей основной функции, позволяет повысить устойчивость уступов в результате укрепления их свайными конструкциями [1].

Проведенные исследования позволили выбрать тип и конструкцию свайного фундамента таким образом, что будет обеспечена устойчивость конвейера, появление новых оползневых явлений сократится, а также затраты на транспортирование горной массы будут снижены. Расчёт свай производился на вдавливающую нагрузку. В расчётах учитывалось совместное действие вертикальной, горизонтальной нагрузки и момента при установке конвейерной линии, а также сейсмического воздействия на сваю при производстве буровзрывных работ. Вариант размещения конвейера на свайном фундаменте, помимо своей основной функции, позволяет повысить устойчивость уступов в результате укрепления их свайными конструкциями. Сравнение затрат на строительство проектного варианта размещения конвейера в крутой траншее с капитальными затратами на строительство

конвейера на свайном фундаменте показало, что последний выгоднее не только по капитальным вложениям, но и по эксплуатационным затратам. В результате выполненного анализа особенностей применения схем ЦПТ в карьерах установлено, что полустационарные ДПП обладают большой производительностью, сопоставимой со стационарными ДПП; рентабельный шаг переноса полустационарных ДПП должен приниматься с учетом технологических особенностей разработки месторождения и позволять отрабатывать освободившиеся от оборудования площадки; использование полустационарных ДПП наиболее эффективно на крупных карьерах с высокой интенсивностью горных работ; использование полустационарных ДПП способствует снижению эксплуатационных затрат, минимизирует пробег автотранспорта, тем самым уменьшает эксплуатационные затраты на транспортирование горной массы.

#### Список литературы

1. Исследование возможности применения конвейерного транспорта в сложных горно-геологических условиях глубоких высокопроизводительных карьеров / Бурмистров К.В., Головей С.И., Крутикова А.В., Даутбаев З.Р. // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – Т.6. – №2. – С. 32-38.
2. Авдеев П.Б. Выбор оптимальной области применения определенного Вида карьерного транспорта при отработке месторождений Забайкалья // Вестник Читинского государственного университета. – 2010. – №3. – С. 109-115.
3. Бурмистров К.В., Головей С.И. Анализ особенностей применения полустационарных дробильно-сортировочных комплексов при разработке глубоких карьеров // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: сб. науч. тр. по материалам международной научно-практической конференции. – Магнитогорск, 2018. – С. 163-168.
4. Дуренбекова А.Н., Молдабеков Б.К. Перспективы применения ЦПТ на глубоких карьерах. – Алматы, 2013. – С. 5.
5. Беленький С.Б., Дикман Л.Г., Косоруков И.И. Проектирование и устройство свайных фундаментов. – М.: Высш. шк., 1983. – 328 с.
6. Козаков Ю.Н., Буланкин Н.Ф. О точности расчёта несущей способности забивных свай в просадочных грунтах // Проектирование и строительство в Сибири. – 2009. – №3. – С. 14-15.

#### Сведения об авторах

**Бурмистров Константин Владимирович** – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Головей Станислав Игоревич** – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: gm\_si@mail.ru

УДК 656.223.28

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ПАРКА МНОГООБОРОТНЫХ СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Набиев И.Г., Фридрихсон О.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Рассмотрено состояние рынка металлопродукции, дана характеристика рыночного положения ПАО «ММК». Выполнен анализ парка многооборотных средств крепления (металлических рам) для доставки экспортных грузов в морские порты. Разработана экономико-математическая модель оптимизации парка металлических рам. Представлен перечень мероприятий по сокращению периода оборота многооборотной тары.

**Ключевые слова:** металлопродукция, схема погрузки, многооборотные средства крепления, период оборота, оптимизация численности парка, экономико-математическое моделирование.

Мировое производство стали в 2016 г. выросло по сравнению с 2015 г. на 0,8%, до 1,629 млрд т (рис. 1). Лидером по выпуску стали остается Китай с общим объемом производства в 808,4 млн т [1]. Как видно из графика, ежегодно наблюдается дисбаланс между объемом производства и потребления металлопродукции (отрицательный баланс потребления более 600 млн т), в связи с чем усиливается конкуренция между металлургическими компаниями за сбыт не только на внутреннем, но и на мировом рынке.



Рис. 1. Мировое производство и потребление стали, млрд т

Российские металлургические мощности, являясь одними из самых современных в мире, позволяют производить продукцию высокого качества и практически полностью удовлетворяют потребности российских потребителей, успешно вытесняя импорт. Россия остается пятым крупнейшим производителем стали в мире с объемом выпуска в 70,8 млн т, что составляет 4,3% от общемирового производства (по итогам 2016 г.). В тройку лидеров по производству металлопродукции на отечественном рынке входят Новолипецкий металлургический комбинат, Магнитогорский металлургический комбинат и Северсталь (рис. 2).

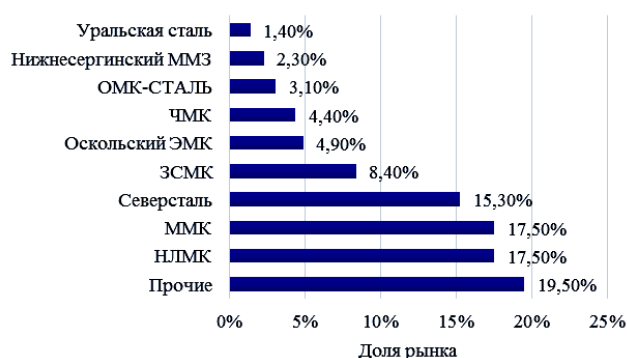


Рис. 2. Структура российского производства металлопроката

На протяжении последних лет ПАО «ММК» демонстрирует стабильно высокие показатели производственной и финансовых деятельности. За 2017 г. предприятием было произведено 11,3 млн т товарной металлопродукции [2].

На сегодняшний день около 27% продукции комбината отправляется на экспорт, как правило, это продукция глубоких переделов, а следовательно, наиболее дорогостоящая (рис. 3). Продукция, произведенная ПАО «ММК», с каждым годом становится все более востребованной у иностранных клиентов по причине хорошего соотношения цена-качество.

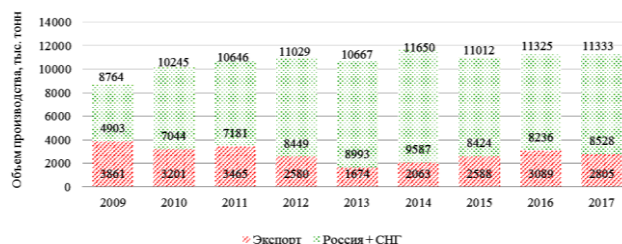


Рис. 3. Производство товарной металлопродукции ПАО «ММК»

Для обеспечения сохранности готовой продукции при перевозке до морских портов ПАО «ММК» использует многооборотные средства крепления (МСК). В настоящее время парк металлических рам предприятия составляет более 23 тыс. единиц, ежегодно производится более 2 тыс. новых рам, взамен списанных в лом и невозвращённых грузополучателями.

В российских морских портах после перегрузки рулонов в суда металлические рамы, которые являются многооборотной тарой, накапливаются для обратной перевозки в ПАО «ММК» [3]. В 2017 г. перевозка до портов осуществлялась по пяти основным направлениям: Новороссийск (1972,7 тыс. т), Жигулевское море (255,8 тыс. т), Владивосток (203,1 тыс. т), Правый берег (24,7 тыс. т), Актау – порт (19,5 тыс. т). Так, в Новороссийск за 2017 г. было отправлено 46 090 многооборотных средств крепления, в порт Жигулевское море – 5976 шт.

Анализ ведомостей учета многооборотных средств крепления показал, что средний оборот рамы (экспорт по всем направлениям) составляет 97 дней, отдельно по порту Новороссийск – 35 дней [4].

Разработка мероприятий по оптимизации парка МСК имеет значительную актуальность, поскольку, во-первых, стоимость парка МСК в настоящее время превышает более 1 млрд руб.; во-вторых, увеличивающийся объём экспортных поставок повышает важность совершенствования процесса управления оборотом металлических рам (рис. 4).

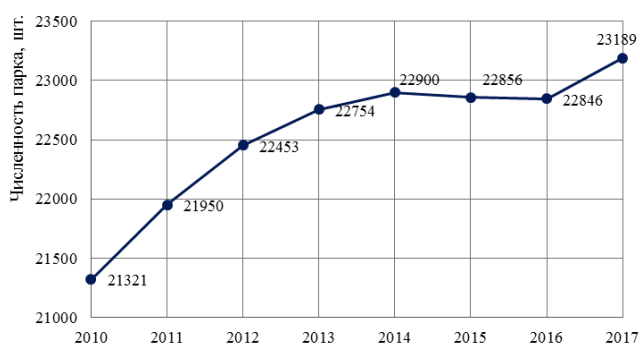


Рис. 4. Динамика численности парка МСК

С целью оптимизации парка МСК разработана экономико-математическая модель, целевая функция представлена ниже.

$$F = C_{\phi} + RC_{\text{тек}} - C_{\text{опт}} - RC_{\text{опт}} - SC \rightarrow \max \quad (1)$$

при  $Q_{\text{тек}} \leq Q_{\text{пред}}$ ,

где  $C_{\phi}$  – текущая стоимость МСК, тыс. руб.;

$RC_{\text{тек}}$  – текущие затраты на содержание парка МСК, тыс. руб.;

$C_{\text{опт}}$  – стоимость парка МСК оптимальной численности, тыс. руб.;

$RC_{\text{опт}}$  – затраты на содержание парка МСК оптимальной численности, тыс. руб.;

$SC$  – суммарные затраты на реализацию мероприятий по сокращению времени выполнения операций переработки МСК, тыс. руб.;

$Q_{\text{тек}}$  – текущий объём перевозок экспортной продукции до морских портов, тыс. т;

$Q_{\text{пред}}$  – объём перевозок экспортной продукции до морских портов после реализации мероприятий, тыс. т.

В свою очередь, элементы целевой функции рассчитываются по выражениям:

$$C_{\phi}(C_{\text{опт}}) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot n_i; \quad (2)$$

$$RC_{\text{тек}}(RC_{\text{опт}}) = \sum_{i=1}^n n_i \cdot l_i; \quad (3)$$

$$SC = \sum_{i=1}^m r_i; \quad (4)$$

$$n_i = \frac{Q_i}{N_{\text{об}i} \cdot q_i}; \quad (5)$$

$$N_{\text{об}i} = \frac{365}{T_{\text{об}i}}, \quad (6)$$

где  $c_i$  – цена МСК  $i$ -го типа, тыс. руб.;

$n_i$  – количество МСК  $i$ -го типа, тыс. руб.;

$l_i$  – совокупные затраты на содержание МСК  $i$ -го типа тыс. руб.;

$r_i$  – затраты на реализацию мероприятий по сокращению времени выполнения операций переработки МСК, тыс. руб.;

$N_{\text{об}i}$  – количество оборотов МСК  $i$ -го типа по  $j$ -му направлению перевозок, дней, оборотов в год;

$T_{\text{об}i}$  – среднее время оборота МСК  $i$ -го типа по  $j$ -му направлению перевозок, дней;

$Q_i$  – объём перевозок готовой продукции на МСК  $i$ -го типа по  $j$ -му направлению, тыс. тонн;

$q_i$  – средняя грузоподъемность МСК  $i$ -го типа, т.

В результате анализа научно-технической литературы [5–7], а также внутренних локальных актов ПАО «ММК» удалось установить перечень операций, входящих в состав периода оборота рамы (время от момента погрузки готовой продукции на раму до момента следующей погрузки). Период оборота представляет собой сумму продолжительности выполнения следующих технологических операций

$$T_{об} = t_0 + t_{оборуд} + t_{ман} + t_{погр} + t_{подб} + t_{дв1} + t_{выгр} + t_{нак} + t_{дв2} + t_{выг}, \quad (7)$$

где  $t_0$  – время на подбор необходимых рам (производство), ч;

$t_{оборуд}$  – время на оборудование рам в вагоне, ч;

$t_{ман}$  – время на маневровые операции, ч;

$t_{погр}$  – время на погрузку готовой продукции, ч;

$t_{подб}$  – время на подбор подходящих под погрузку вагонов, ч;

$t_{дв1}$  – время движения до порта, ч;

$t_{выгр}$  – время выгрузки, ч;

$t_{нак}$  – время накопления рам в порту, ч;

$t_{дв2}$  – время возврата рам на предприятие, ч;

$t_{выг}$  – время выгрузки рам из вагонов на склад, ч.

Как видно из целевой функции, стоимость парка МСК, а также затраты на его содержание, могут быть снижены, за счет сокращения периода оборота. Перечень мероприятий по сокращению операций с многооборотной тарой показан в таблице.

На следующем этапе выполнения работы необходимо осуществить проверку экономико-математической модели на адекватность и в случае необходимости выполнить ее корректировку. Кроме того, выполнив численные эксперименты, необходимо сформулировать рекомендации по оптимизации парка многооборотной тары – металлических рам для перевозки экспортной металлопродукции до портов.

Мероприятия по сокращению периода оборота МСК

Элемент	Характеристика производимых работ	Рекомендации по сокращению продолжительности времени оборота
$t_0$	Подбор необходимых рам на складах ЦПВ либо производство новых	Предварительное согласование заявок на погрузку металлопродукции между ЦПВ и листопрокатными цехами
$t_{оборуд}$	Оборудование рам в вагоне	Совершенствование технологии оборудования рам
$t_{ман}$	Сортировка вагонов по направлениям: ЛПЦ-4, 5, 10, 11, ПМП, выкидка порожних вагонов	Согласование порядка подачи вагонов в тупики ЦПВ с железнодорожной станцией
$t_{погр}$	Погрузка готовой продукции на рамы	-
$t_{подб}$	Маневровая работа по подбору подходящих вагонов (по собственникам, по годности под погрузку, по направлениям СНГ, ДВ, РС, СНГКЗХ)	-
$t_{дв1}$	Движение по путям общего пользования до портов	Изменение скорости с грузовой на скоростное сообщение
$t_{выгр}$	Выгрузка продукции в порту	Выкуп собственных портовых мощностей, согласование и оплата порту приоритетной обработки грузов ПАО «ММК»
$t_{нак}$	Накопление рам в порту	Определение необходимой партии рам для отправления, согласование нормативов времени нахождения рам в порту
$t_{дв2}$	Движение рам по путям общего пользования на ПАО «ММК»	Изменение скорости с грузовой на скоростное сообщение
$t_{выг}$	Выгрузка рам на склады ЦПВ	-

**Список литературы**

1. Сайт «World Steel Association» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.worldsteel.org> (дата обращения: 1.03.2018 г.).
2. Годовые отчеты ПАО «ММК» за 2007-2016 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mmk.ru> (дата обращения: 1.03.2018 г.).
3. Местные технические условия размещения и крепления груза в ЖД ПС №МО-103/587.
4. Ведомости учета оборота многооборотных средств крепления ПАО «ММК».
5. Цыганов А.В., Шестёркин А.В. Математическая модель процесса оборудования железнодорожных вагонов рамами // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2017. – Т.7. – №1. – С. 22-26
6. Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н. Управление вагонопотоками в промышленных транспортных системах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2013. – № 1. – С. 16-20.
7. Интеллектуализация транспортного обслуживания металлургических предприятий / Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., Мишкuroв П.Н., Копылова О.А. // Сталь. – 2014. – №4. – С. 115-118.

**Сведения об авторах**

**Набиев Ильдар Габдулбарович** – магистрант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск.

**Фридрихсон Олег Владимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедры ЛиУТС, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск.

---

УДК 658.512 : [621.833.01 : 621.825-8]

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ЗУБЧАТЫХ МУФТ ПО КРИТЕРИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ РЕМОНТНОГО ЦИКЛА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

Анцупов В.П., Слободянский М.Г., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Макарова П.В., Севостьянов И.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В ряде случаев долговечность зубчатых муфт оказывается значительно меньше ремонтного цикла металлургического агрегата. Это вызывает необходимость предварительной оценки их ресурса до введения в промышленную эксплуатацию. В статье представлена аналитическая методика прогнозирования долговечности зубчатых муфт по критерию износостойкости зубьев, которая позволяет оценивать их проектный ресурс без проведения экспериментальных исследований. Она построена с использованием основных уравнений теории параметрической надежности технических объектов и базовых зависимостей энергомеханической концепции изнашивания стационарных трибосопряжений. Предложен алгоритм аналитической оценки ожидаемого ресурса зубчатых муфт в зависимости от основных конструктивных и технологических параметров их эксплуатации, свойств материалов и фрикционных характеристик. Он может быть использован при сравнительном анализе и выборе наиболее долговечных конструктивных или технологических решений для обеспечения требуемого уровня ремонтного цикла металлургической машины.

**Ключевые слова:** зубчатая муфта, износ, износостойкость, долговечность, ресурс, прогнозирование.

### Постановка цели и задач исследований

В настоящее время одной из острых проблем металлургических предприятий является вопрос назначения эффективной периодичности ТОиР механического оборудования, так как его работоспособность определяет технико-экономические показатели производства. Поскольку основной причиной потери производительности металлургических агрегатов являются внеплановые отказы механического оборудования, актуальным становится вопрос изыскания резервов повышения его долговечности и назначения рациональных ремонтных циклов, которые определяются ресурсом наименее работоспособных деталей.

Одним из наименее работоспособных элементов металлургических агрегатов, отказ которых приводит к внеплановым остановкам производства и потере производительности, являются зубчатые соединительные муфты, выполняющие функцию компенсации осевых, радиальных и угловых смещений соединяемых осей и валов. Так как проверка технического состояния муфты без полной разборки в рамках периодических технических осмотров с целью предупреждения возможного отказа невозможна, то её отказ в межремонтный период приводит к внеплановым простоям оборудования, снижению объемов вы-

пускаемой продукции металлургического агрегата и увеличению трудоемкости ремонтных операций.

В этих обстоятельствах аналитическое прогнозирование ресурса зубчатой муфты на стадии проектирования и эксплуатации позволит определить его соответствие ремонтному циклу металлургической машины. Если её ресурс окажется меньше величины межремонтного периода (ремонтного цикла) агрегата, то возникает необходимость разработки новых решений для повышения её долговечности. С этой целью требуется создание новой аналитической методики оценки ресурса зубчатой муфты по различным причинам (критериям) работоспособности.

Согласно ГОСТ 50895-96 [1] отказ зубчатых муфт может быть зафиксирован по одной из следующих причин:

- поломка зуба обоймы или втулки;
- возникновение трещин на втулках и обоймах;
- разрушение болтовых соединений;
- возникновение утечки смазочного материала.

Однако, как показывает практика, критерием предельного состояния муфты или отказа в стационарных условиях эксплуатации является предельная величина износа поверхностного слоя зубьев на делительном диаметре.

В настоящее время проектный расчет износостойкости зубьев муфты осуществляют проверкой условия контактной прочности [2, 3] в виде

$$p = \frac{T \cdot k_h \cdot k_{np}}{b_m \cdot d_m^2} \leq [p], \quad (1)$$

где  $T$  – крутящий момент, передаваемый муфтой;  
 $d_m$  – диаметр делительной окружности зубчатого венца;

$k_h$  – коэффициент высоты зуба;

$k_{np}$  – коэффициент неравномерности удельной нагрузки;

$[p]$  – допускаемое давление, назначаемое в зависимости от вида термообработки зубьев.

В этом случае предполагается, что если выполняется условие (1), то износостойкость зубчатой муфты будет обеспечена длительное время.

Наряду с вышеуказанным, известен подход Э.Л. Айрапетова к оценке ресурса зубчатых муфт по критерию износостойкости [4]. Ресурс зубчатой муфты согласно [4] определяется по зависимости вида

$$L_u = \frac{0,86 \cdot U_p}{\bar{\gamma}_u \cdot 60 \cdot n}, \quad (2)$$

где  $U_p = S \cdot [1 - (S_{FP}/S_F)^{0,5}]$  – допустимы износ

зубьев в сечении действия максимальной нагрузки;

$\bar{\gamma}_u = K_u \cdot K_p \cdot P_1 \cdot \cos \alpha / (K_h \cdot m)$  – средняя скорость изнашивания зубьев;

$n$  – частота вращения муфты;

$S$  – толщина зуба на делительной окружности;

$S_{FP}$  – допускаемый коэффициент запаса по изгибным напряжениям;

$S_F$  – коэффициент запаса по изгибным напряжениям;

$K_u$  – коэффициент удельной износостойкости;

$K_p$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между зубьями в связи с шаговыми погрешностями зубчатых венцов полу муфт;

$P_1$  – максимальная нормальная сила, действующая на пару зубьев муфты;

$\alpha$  – делительный угол профиля зуба;

$K_h$  – коэффициент высоты зуба;

$m$  – модуль зубьев.

Приведенные зависимости в неявном виде отражают влияние на износ силовых ( $T$  и  $P_1$ ) и геометрических ( $d_m$ ,  $\alpha$ ,  $K_h$ ,  $m$ ) параметров. Кроме того, во второй зависимости вводится эм-

пирический коэффициент удельной износостойкости  $K_u$ , связывающий расчетную погонную нагрузку с экспериментальным значением износа за один цикл, найденный по результатам многочисленных испытаний. Очевидно, что такие подходы не описывают процесс фрикционного взаимодействия и изнашивания зубьев и не учитывают такие значимые параметры, как скорость скольжения поверхностей, параметры их шероховатости, триботехнические характеристики, физические и механические свойства материала поверхностного слоя и др. В связи с этим целью настоящих исследований является разработка методики аналитической оценки проектного ресурса зубчатых муфт по критерию износостойкости контактных слоев поверхности в различных условиях эксплуатации.

Эту проблему, на наш взгляд, можно решить на основе современных достижений физической теории надежности деталей машин [5-7] и энергомеханической концепции изнашивания твердых тел [8-10], которая построена на базовых положениях молекулярно-механической [11] и структурно-энергетической [12] теорий трения.

#### Методика прогнозирования и обеспечения ресурса зубчатых муфт требованиям ремонтного цикла

Блок-схема методики аналитической оценки среднего ресурса (для  $[\gamma] = 50\%$ ,

$[P(t = \bar{t})] = [\gamma]/100 = 0,5$ ) зубчатых муфт по критерию износостойкости контактных поверхностей зубьев представлена в виде строгой последовательности расчетных операций на рисунке и состоит из 12 операционных блоков.

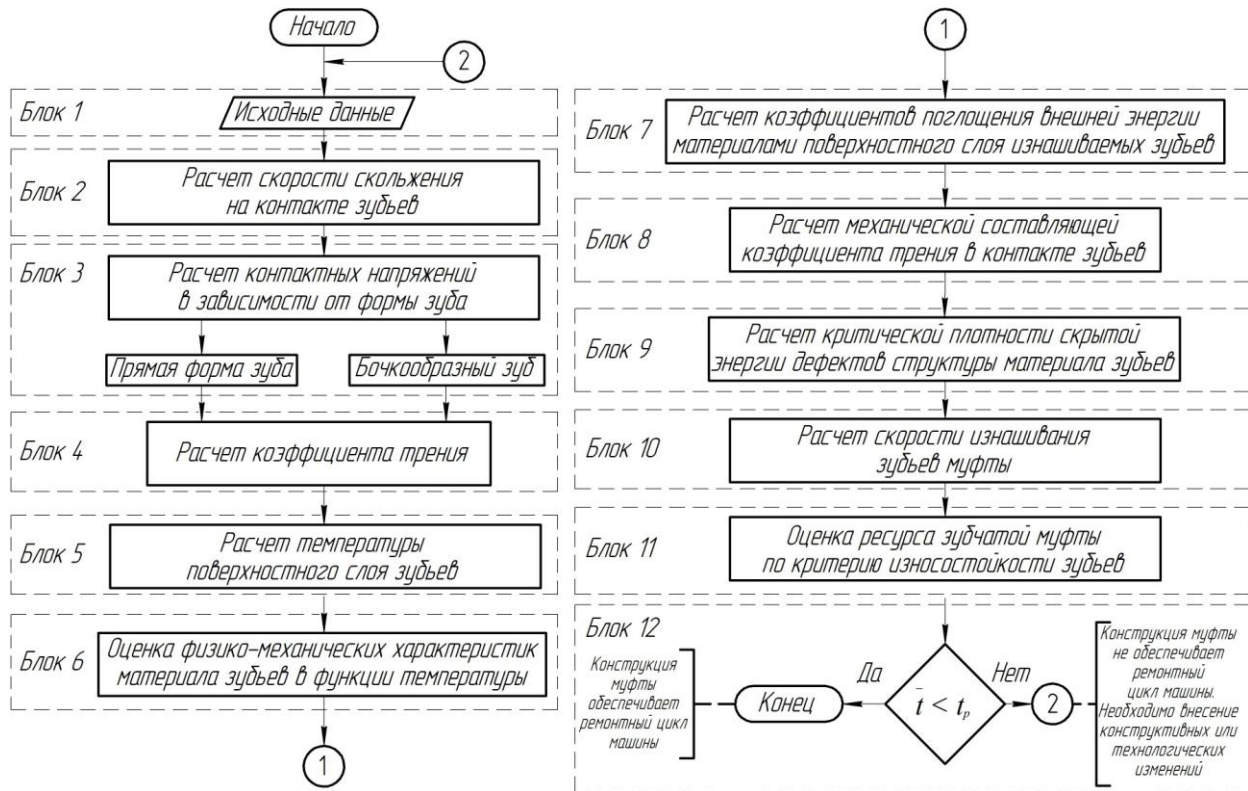
Первый блок представляет собой совокупность 5 групп средних значений исходных данных, необходимых для выполнения расчетных операций по определению среднего проектного ресурса муфты. При обозначении параметров примем, что индекс 1 будет характеризовать зубчатую втулку, а индекс 2-зубчатую обойму.

Первая группа исходных данных включает:

– основные геометрические характеристики зубчатого зацепления: число зубьев  $z$ , модуль  $m$ , ширина зубчатого венца втулки  $b_1$  (длина зуба), коэффициент высоты зуба  $K_h$ , делительный угол профиля зуба  $\alpha$ ;

– параметры внешнего нагружения: крутящий момент, передаваемый муфтой  $M_{кр}$ , частота вращения муфты  $n$ , температура зубчатого зацепления муфты  $T_0$ .





Блок-схема процесса аналитического расчета ресурса зубчатой муфты по критерию износостойкости зубьев

Во вторую группу входят параметры шероховатости поверхности зубьев муфты: среднearифметическое отклонение профиля  $R_{a(1,2)}$ , наибольшая высота профиля  $R_{max(1,2)}$ , параметры опорной кривой поверхности  $b_{1,2}$  и  $v_{1,2}$ , радиус кривизны вершин микровыступов поверхности  $r_{1,2}$ .

Третья группа исходных данных включает физико-механические характеристики материалов зубьев муфты: модуль упругости  $E_{1,2}$ , коэффициент Пуассона  $\mu_{1,2}$ , предел пропорциональности  $\sigma_{m(1,2)}$ , предел текучести  $\sigma_{T(1,2)}$ , твердость по Виккерсу  $HV_{1,2}$ , коэффициент гистерезисных потерь при растяжении  $\alpha_{Гр(1,2)}$ , плотность материала  $\rho_{1,2}$  втулки и обоймы соответственно.

Четвертая группа включает теплофизические характеристики материалов зубьев: коэффициент теплопроводности  $\lambda_{1,2}$ , коэффициент теплоотдачи поверхности трения  $\alpha_{1,2}$ , удельную теплоемкость  $c_{1,2}$ , энтальпию плавления  $\Delta H_{S(1,2)}$ .

В пятую группу входят фрикционные характеристики трибосопряжения зубьев: касательное напря-

жение межмолекулярного сцепления  $\tau_0$  и коэффициент упрочнения молекулярной связи  $\beta$  [11].

Во втором блоке выполняем расчет скорости относительного скольжения рабочих поверхностей по зависимости работы [13]:

$$V_{ск} = [\alpha \cdot n \cdot D_a / 60] \cdot \sqrt{1 + (l/D_a)^2}, \quad (3)$$

где  $D_a = m \cdot z$  – делительный диаметр окружности зубьев втулки;  
 $n$  – частота вращения муфты;  
 $\alpha$  – угол перекоса осей соединяемых валов;  
 $l$  – длина соединения зубчатой втулки и обоймы.

В третьем блоке оцениваем величину контактных напряжений, определяемых в зависимости от геометрической формы зуба по методике работы [4]. Контактное напряжение в средней точке высоты зуба [4]

$$p_{cp} = \sigma_{H\gamma} = k_{H\gamma} \cdot \sigma_{H_0}, \quad (4)$$

где  $k_{H\gamma}$  – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение напряжений по длине контактной линии;

$\sigma_{H_0}$  – контактное напряжение без учета концентрации контактных давлений вследствие перекоса между осями полумуфт.

В четвертом блоке алгоритма производим расчет коэффициента трения в зависимости от вида напряженного состояния поверхностного слоя зубьев по известной методике И.В. Крагельского [11].

В пятом блоке рассчитываем температуру поверхностного слоя зубьев по методике А.В. Чичинадзе, опубликованной в работе [15].

В шестом блоке алгоритма оцениваем физико-механические характеристики материала зубьев в функции температуры поверхностного слоя ( $E_{1,2}(T)$ ,  $\mu_{1,2}(T)$ ,  $\sigma_{T(1,2)}(T)$ ,  $HV_{1,2}(T)$ ):

Коэффициент Пуассона материалов зубьев втулки и обоймы

$$\mu_{1,2}(T_{1,2}) = \mu_{1,2} \cdot e^{-0,0005 \cdot T_{1,2}}. \quad (5)$$

Модуль упругости материалов зубьев втулки и обоймы

$$E_{1,2}(T_{1,2}) = E_{1,2} \cdot e^{-0,0007 \cdot T_{1,2}}. \quad (6)$$

Упругие постоянные материалов зубьев втулки и обоймы

$$\theta_{1,2}(T_{1,2}) = (1 - \mu_{1,2}^2(T_{1,2})) / E_{1,2}(T_{1,2}). \quad (7)$$

Коэффициенты поглощения внешней энергии поверхностным слоем зубьев втулки в седьмом блоке (см. рисунок) определяем по методике работы [7]:

$$\nu_1 = 1 - (K_\varepsilon \cdot R_{a1}^{1/3} + 1)^{-1}; K_\varepsilon = \theta_1^{2/3} / (\theta_2^{2/3} \cdot R_{a2}^{1/3}). \quad (8)$$

В восьмом блоке оцениваем величину механической составляющей коэффициента трения [7] в установившемся режиме трения в зависимости от вида напряженного состояния поверхностного слоя зубьев.

В девятом блоке алгоритма расчет критической плотности скрытой энергии дефектов поверхностного слоя зубьев втулки и обоймы проводим по зависимостям работ [9, 10, 12]:

$$u_{e(1,2)}^* = \Delta H_{S(1,2)} - (u_{T(1,2)} - u_{e0(1,2)}), \quad (9)$$

где  $u_{e0(1,2)}$  – исходная плотность скрытой составляющей внутренней энергии материала поверхностного слоя зубьев втулки и обоймы соответственно;

$u_{T(1,2)} = \int_0^{T_{1,2}} \rho_{1,2} \cdot c_{1,2} \cdot dT_{1,2}$  – энтальпия материала зубьев температуре поверхностного слоя  $T$ .

Скорость изнашивания зубьев в десятом блоке алгоритма определяем по методике работ [10, 11] с использованием базового уравнения энергетико-механической концепции разрушения поверхностного слоя [12], которое для рассматриваемой пары трения примет вид

$$\dot{y} = \nu_{1,2} \cdot f_{\text{мех}} \cdot p_{\text{ср}} \cdot V_{\text{ск}} / u_{e(1,2)}^*. \quad (10)$$

В одиннадцатом блоке ресурс зубчатой муфты определяется как отношение величины предельного износа, установленного согласно [1] к расчетной величине скорости изнашивания в установившемся режиме трения:

$$\bar{t} = [h] / \dot{y}. \quad (11)$$

Совокупность уравнений (3)-(11) представляет собой методику аналитической оценки среднего ресурса зубчатых муфт по критерию износостойкости зубьев.

В двенадцатом блоке сравниваем расчетную величину среднего ресурса  $\bar{t}$  с продолжительностью ремонтного цикла  $t_p$ . Если величина  $\bar{t}$  меньше значения ремонтного цикла  $t_p$ , то необходимо на основе теоретических исследований предложить новые конструктивные или технологические решения, оценить их прогнозный ресурс и выбрать наиболее целесообразные, обеспечивающие требования ремонтного цикла.

### Заключение

Разработана методика, алгоритм и программа проектного расчета среднего ресурса зубчатых муфт по критерию износостойкости зубьев для обеспечения требований ремонтного цикла исследуемых металлургических машин. Она позволяет проводить сравнительный анализ долговечности различных вариантов конструкции и модификаций муфт в предполагаемых условиях нагружения, ориентируясь на заданную продолжительность ремонтного цикла. Отличительной особенностью предлагаемой методики является возможность проведения теоретических исследований без выполнения дополнительных лабораторных или промышленных испытаний. Это значительно упрощает и сокращает этапы разработки машины, снижая временные и финансовые затраты.

### Список литературы

1. ГОСТ Р 50895-96. Муфты зубчатые. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 19 с.
2. Кузьмин А.В., Чернин И.М., Козинцов Б.С. Расчеты деталей машин: справ. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Выш. шк., 1986. – 400 с.

3. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин: учебник для машиностроительных специальностей вузов. – 12-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2008. – 408 с.
4. Метод расчета на прочность зубчатых муфт. Р 54-313-90 / Айрапетов Э.Л., Апархов В.И., Нахатакян Ф.Г., Шоломов Н.М. и др. – М.: Госстандарт СССР: ВНИИИИИМАШ, 1991. – 39 с.
5. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
6. Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Анцупов В.П. Аналитический метод проектной оценки ресурса элементов металлургических машин // Известия вузов. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60. – №1. – С.30-35.
7. Antsupov A.V., Antsupov V.P., Antsupov A.V. Estimation and assurance of machine component design lifetime // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 726-733. (DOI:10.1016/j.proeng.2016.07.094)
8. G. Fleischer, H. Gröger. Methode zur Bestimmung des Verschleißes auf der Grundlage der Energiehypothese. Bericht im Rahmen der wiss. –technischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet Reibung, Schmierung und Verschleiß zwischen dem IMASCH, Moskau und den Forschungsinstitutionen der DDR. TH Magdeburg, 1972, pp. 285-296.
9. Федоров В.В. Основы эргономики и синергетики деформируемых тел Ч.III. Основы эргономики деформируемых тел / под ред. С.В. Федорова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2014. – 222 с.
10. Оценка ресурса деталей и узлов металлургических машин на стадии их проектирования и эксплуатации: учеб. пособие / А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский, В.П. Анцупов, А.В. Анцупов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. – 211 с.
11. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
12. Анцупов А.В. Энергомеханическая концепция прогнозирования ресурса узлов трения по критерию износостойкости элементов / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов // Трение и износ. – 2016. – Т. 37. – № 5. – С. 510-516.
13. Яковлев Р.А. Расчет на износ узлов трения прокатных станов: учеб. пособие по курсу «Основы динамики и надежности прокатных станов» / под ред. А.Г. Колесникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 52 с.
14. Хохлов В.М. Расчет площадей контакта, допускаемых напряжений, износа и износостойких деталей машин. – Брянск: БГТУ, 1999. – 104 с.
15. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлингер, Э.Д. Браун и др. / под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

#### Сведения об авторе

**Анцупов Виктор Петрович** – д-р техн. наук, профессор, кафедра «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: antsupov.vp@gmail.com

**Слободянский Михаил Геннадьевич** – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: m.slobodianskii@gmail.com

**Анцупов Алексей Викторович** – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Анцупов Александр Викторович** – д-р техн. наук, профессор, кафедра «Машины и технологии обработки давлением и машиностроение», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Макарова Полина Витальевна** – студент кафедры «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Севостьянов Илья Александрович** – студент кафедры «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 669:621-971

## ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФАСОННОГО ПРОКАТА В ПОТОКЕ СОРТОВЫХ СТАНОВ

Сычков А.Б., Агутин Г.В., Камалова Г.Я.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Приведены результаты разработки технологии термического упрочнения – термической правки фасонного проката (уголки) из стали СтЗсп на базе математического и физического моделирования процесса теплоотдачи при ускоренном водяном охлаждении металла.

Полученные результаты моделирования технологии термической обработки уголков из стали СтЗсп могут быть распространены после проведения соответствующих экспериментов на стали других марок – 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД и т.п. с исключением дорогостоящего микро-легирования стали ванадием, ниобием, титаном и другими элементами.

**Ключевые слова:** фасонный прокат; термическая обработка-правка; математическое и физическое моделирование; водяное ускоренное охлаждение; микроструктура; твердость; микролегирование; класс прочности.

В настоящее время производство фасонного проката сопровождается двумя основными проблемами. Первая из них – это наличие местного и/или общего изменения формы профилей. Это связано с охлаждением металла после прокатки в двухфазной области – в межкритическом ( $\gamma \rightarrow \alpha$ )-интервале температур, в котором возникают остаточные напряжения, вызывающие искривление раската.

Вторая проблема заключается в высокой температуре окончания прокатки, при которой формируется крупное ферритное зерно и грубые перлитные колонии, что обуславливает низкие значения  $\sigma_T$  и отношения  $\sigma_T/\sigma_B$ , значения которых зачастую ниже требований НТД. Это характерно для сталей СтЗсп, 09Г2, 09Г2С, 25Г2С и др. Проблема решается при понижении температуры окончания прокатки, однако такое решение приводит к росту энергосиловых параметров процесса прокатки и ограничено возможностями прокатных станов, а также технологией прерванной и/или прерывистой (тер-мотермоциклической) заковки с прокатного нагрева с самоотпуском.

Процесс термического упрочнения-термической правки (ТУ-ТП) наиболее эффективен для обеспечения повышения уровня механических свойств проката, соответствующих более высокому классу прочности, которое до этого достигалось только путем дополнительного микролегирования стали ванадием, ниобием, титаном и другими элементами. Такое микролегирование весьма затратно.

Научно-технологические разработки ТУ-ТП фасонных профилей были начаты еще в 1970–1990-

х годах в УкрНИИМет (г. Харьков); ИЧМ НАНУ (г. Днепр), ВНИИМТ (г. Екатеринбург) [1–9].

Для разработки технологии ТУ-ТП фасонного проката в потоке прокатных станов использовали программную среду метода конечных элементов DEFORM 3D + HEAT TREATMENT и провели лабораторные эксперименты с варьированием температуры в широком диапазоне для имитации режимов ускоренного водяного охлаждения фасонного проката.

*Математическое моделирование процесса ускоренного водяного охлаждения фасонного проката.* В качестве образца для моделирования был выбран равнополочный уголок 63×63×4 мм из низкоуглеродистой стали СтЗсп. Кинетику охлаждения этого проката исследовали при следующих условиях: температура начала охлаждения 950°C; скорость прокатки 10 м/с; выдержка в водной среде охлаждения до 3 с при 500°C с дальнейшим охлаждением на воздухе; коэффициент конвективного теплообмена при давлении воды до 0,8 МПа (8 бар) принят равным 2,5 кВт/(м<sup>2</sup>·К). Эти условия очень близки к реальному технологическому процессу прокатки и возможному режиму ТУ-ТП в условиях действующего прокатного стана типа 450. Результаты моделирования показывают следующее [10, 11].

На кривых охлаждения образцов проката наблюдается явление рекалесценции: для вершины уголка – при  $\approx 620^\circ\text{C}$ , для центра полки при  $\approx 490^\circ\text{C}$  и для границы полки - кромка полки при  $\approx 350^\circ\text{C}$ . Значительная разница температур рекалесценции в разных точках профиля обусловлена скоростью потери теплоты при удалении от центра проката. Практически полное завершение диффузионного

процесса возможно для вершины и центра полки уголка после 3 с охлаждения. На кромке полок уголка металл после 3 с охлаждения имеет структуру перлита (порядка 33%) вследствие процесса самоотпуска после выдержки проката.

Полное мартенситное превращение металла в полках уголка осуществляется в течение 1 мин с начала охлаждения. С учетом проводимой выдержки проката и возможности образования перлита для вершины уголка доля мартенсита будет составлять примерно 67 %. Из-за наличия остаточного тепла в сердцевине профиля проката полки уголкового проката подвергнутся самоотпуску с формированием структуры перлита различной степени дисперсности. Образование мартенситной фазы в сердцевине профиля проката практически исключено.

В вершине уголка в течение 10–20 с происходит фазовое превращение из-за наличия в этом участке большей массы металла и соответственно большего запаса количества теплоты, чем в остальных участках профиля. Тем самым обеспечивается перенос теплоты для дальнейшего самоотпуска металла по всему сечению профиля (к мартенситным участкам на периферии проката). Мартенситное превращение происходит быстро – при выдержке в 2 с. После самоотпуска мартенсита достигается эксплуатационно эффективная ферритно-перлитная структура металла по всему профилю проката.

Кинетика диффузионного превращения исследуемого металла уголка показывает следующее. Охлаждение в вершине уголка проходит менее интенсивно, и полное образование перлита заканчивается через 10 с. Перлитное превращение в металле полки углового профиля проходит в течение 4–6 с.

Распределение температуры по сечению проката при охлаждении металла в течение 1,5 с, установлена температура фазового перехода при температуре  $\approx 680^\circ\text{C}$ . Градиент температур незначителен, происходит одновременное охлаждение металла с учетом некоторого накопления теплоты в вершине профиля.

Таким образом, математическое моделирование показало принципиальную возможность термического упрочнения металла уголкового профиля с формированием различных структур распада мартенсита.

В рамках *физического моделирования процессов структурообразования* при упрочняющей ТО фасонного проката были исследованы образцы трех профилеразмеров (равнополочные уголки  $40 \times 40 \times 4$  и  $75 \times 75 \times 8$  мм, швеллер № 5 – по пять образцов) из стали СтЗсп без микролегирования ванадием. Была проведена полная сквозная закалка фасонных профилей с температуры 900 и  $1000^\circ\text{C}$  и последующего отпуска с отдельного нагрева при температурах 200, 300, 400, 500, 600 и

$650^\circ\text{C}$ . Такое моделирование является ориентировочным приближением к процессу ТУ–ТП проката в потоке станов по схеме закалки с самоотпуском с использованием тепла прокатного нагрева. При этом возможно предварительное ускоренное охлаждение проката в секциях, установленных перед чистой группой стана, и осуществление высоко-температурной термомеханической обработки (ВТМО). ВТМО может обеспечить эффективное структурообразование с обеспечением улучшенного комплекса механических свойств фасонного проката.

Анализ данных о химическом составе и механических свойствах металла после горячей прокатки показывает, что исследуемая сталь является типичным представителем марки СтЗсп, а прокат соответствует классу прочности 300–320 МПа (по пределу текучести).

Микроструктура горячекатаного проката представляет собой равномерно распределенный по сечению равноосный феррит и перлит в соотношении 75/25 (%) соответственно по ГОСТ 8233, размер зерна – № 7–8 по ГОСТ 5639. Твердость проката составила 144–147 НВ.

Лабораторный эксперимент заключался в нагреве образцов в двух первых печах при 900 и  $1000^\circ\text{C}$  с выдержкой 15 мин, последующей закалкой в воде при  $20^\circ\text{C}$  в течение не менее 15–20 мин при перемешивании образцов в двух ваннах; затем в шести печах с температурой 200, 300, 400, 500, 600 и  $650^\circ\text{C}$  проводили отпуск в течение не менее 45 мин с последующим охлаждением на спокойном воздухе. Время нагрева образцов составило порядка 60 мин, а скорость нагрева – ориентировочно  $0,24\text{--}0,27^\circ\text{C}/\text{с}$  ( $14,7\text{--}16,3^\circ\text{C}/\text{мин}$ ) соответственно для температур нагрева 900 и  $1000^\circ\text{C}$ . Скорость водяного охлаждения –  $300\text{--}500^\circ\text{C}/\text{с}$ . Скорость охлаждения металла на спокойном воздухе  $2,3\text{--}3,7^\circ\text{C}/\text{с}$  ( $138\text{--}222^\circ\text{C}/\text{мин}$ ). План эксперимента (номера образцов) представлен в табл. 1.

После ТО измеряли твердость опытных образцов в единицах *HRC* в нескольких участках фасонного профиля – в центре и у кромок полок уголка. Результаты замеров твердости образцов приведены в табл. 2.

В табл. 3 приведены результаты обработки замеров твердости и преобразованные по переводным таблицам DIN 50150 в значения временного сопротивления разрыву значения твердости. Там же представлены расчетные данные по определению значений предела текучести, относительного удлинения, коэффициентов упрочнения металла, прогноз некоторых значений ударной вязкости после различных режимов ТО. Для расчета  $\sigma_T$  применяли следующий алгоритм, основанный на анализе эмпирических данных:  $\sigma_T = m\sigma_b$ , где  $m = 0,90$  при температуре отпуска

200 и 300 °С;  $m = 0,80$  при 400 и 500 °С;  $m = 0,65$  при 600 и 650 °С. Для диапазона температур отпуски 650–200 °С уровень механических свойств (дифференцированно по классам прочности) со-

ставил:  $\sigma_B = 680\text{--}1260$  МПа;  $\sigma_T = 440\text{--}1130$  МПа;  $\delta_5 = 20\text{--}2,5\%$ , коэффициент упрочнения (по значению  $\sigma_B$ )  $k_{упр} = 1,4\text{--}2,6$ .

Таблица 1

План эксперимента – присвоение номера опытным образцам проката в зависимости от режима обработки

Профиль	Температура конца прокатки, °С											
	900						1000					
	Температура отпуска, °С											
	200	300	400	500	600	650	200	300	400	500	600	650
40×40×4 мм	3	1	2	5	–	4	8	–	6	7	9	–
75×75×8 мм	4	5	10	3	2	1	11	6	7	8	12	9
Швеллер № 5	3	0	2	1	–	4	9	–	6	7	5	8

Примечание. «–» – отсутствие опытного образца

Таблица 2

Результатов замера твердости (*HRC*) опытных образцов профилей проката

Профиль	Температура отпуска, °С	Температура конца прокатки, °С			
		900		1000	
		центр полки	край полки	центр полки	край полки
Уголок 40×40×4 мм	200	10/12/12	13/12/12	29/29/29	33/31/34
	300	36/37/37	22,5/36/37	–	–
	400	21/24/27	20/24/23,5	18/26/21	17/18,5/17
	500	20/21/19,5	12/13/13	17/21/22	16/20/18
	600	–	–	14/16/14	8/9/10
	650	10/11/12	12/11/14	–	–
Уголок 75×75×75 мм	200	11/25/20	12/23/22	10/17,5/20	14/17/16,5
	300	14,5/20/18	13,5/23/14	14/20/20	14/15/15
	400	15/18/21	10/21/14	30/35/33	36/36/35
	500	3/12/7	5/9/10	13/13/16	16/17/18
	600	2/4/6	2/2/5	18/19,5/19,5	14,5/19/18,5
	650	7/7/7	3/12/13	21/19/14	18/15/16
Швеллер № 5	200	41/40/35	26/25/28	42/42/45	28/36/32
	300	49/49/46	36/33/34	–	–
	400	41/40/46	16/18/20	44/46/45	29/34/34
	500	33/31/32	14/12/17	38/37/36	18/20/21
	600	–	–	31/34/35	16/18/17
	650	28/24/25	6/8/5	35/33/33	14/14/15

Таблица 3

Расчетные усредненные значения механических свойств и твердости опытных образцов в зависимости от температуры отпуска

Параметры	Температура отпуска, °С					
	200	300	400	500	600	650
Твердость, <i>HRC</i>	46	35	27	19	16	13,5
$\sigma_B$ , МПа	1260	1100	890	740	700	680
$\sigma_T$ , МПа	1130	1000	710	590	460	440
$\delta_5$ , %	2,5	4	8	12	17	20
$KCU^{+20}$ , Дж/см <sup>2</sup>	–	–	–	–	90	90
$KCU^{-20}$ , Дж/см <sup>2</sup>	–	–	–	–	110	110
Коэффициент упрочнения, $k_{упр}$	2,6	2,3	1,8	1,5	1,45	1,4

Примечания: 1. Коэффициент упрочнения  $k_{упр}$  рассчитывали, как отношение  $\sigma_B$  после ТО по соответствующему режиму к исходному значению в горячекатаном состоянии.

2. Символ «–» означает отсутствие сведений.

Вышеуказанное подтверждается данными металловедческого исследования микроструктуры опытных образцов. Анализ показывает, что при температуре отпуска 400 °С в структуре наблюдаются продукты распада мартенсита с наличием троостита отпуска со средней твердостью 27 HRC, а при 600 °С – относительно мелкодисперсный перлит (с участками сорбита отпуска) в ферритной сетке и отдельными зернами структурно свободного феррита со средней твердостью 16 HRC. Такое структурное состояние обеспечивает соответственно следующие механические свойства металла уголка: при температуре отпуска 400 °С –  $\sigma_{\text{в}} = 890$  МПа,  $\sigma_{\text{т}} = 710$  МПа,  $\delta_5 = 8$  %, что соответствует классу прочности проката 700 МПа (по  $\sigma_{\text{т}}$ ); для температуры отпуска 600 °С – 700 МПа, 460 МПа и 17%, что отвечает классу прочности проката 450 МПа.

Соответственно вышесказанному следует выбирать необходимую температуру отпуска проката, эквивалентную температуре самоотпуска при прерванной или прерывистой закалке для формирования структуры и свойств металла проката конкретного класса прочности. В действительности промышленности требуется фасонный прокат классов прочности в интервале 440–590 МПа, которые могут быть достигнуты при температурах самоотпуска на уровне 650–500 °С. При более высокой температуре отпуска (самоотпуска) на уровне 850–700 °С обеспечиваются классы прочности фасонного проката 320–550 МПа.

Регулирование структуры и свойств фасонного проката осуществляется путем варьирования числа охлаждающих форсунок, давления воды в них и скорости транспортирования проката через трассу охлаждения (времени охлаждения). Это вопрос будет освещен в последующих публикациях.

**Выводы.** Представлены характеристики математического моделирования технологии термической обработки фасонного проката (уголка) 63×63×4 мм из стали СтЗсп для оценки получаемых структуры, пластических и прочностных свойств. Кривые охлаждения проката показывают кинетику формирования структуры. Диффузионное фазовое превращение сопровождается выделением тепла рекалесценции. В исследовании представлено распределение температуры по сечению проката, из которого видно, что в точке на краях полки уголка происходит более интенсивное охлаждение, но наличие остаточной теплоты от вершины и сердцевины полок уголка обеспечивает самоотпуск изделия, в результате чего достигается эффективная структура перлита отпуска.

Результаты лабораторного моделирования доказывают эффективность термической обработки фасонного проката и получение требуемого эф-

фекта упрочнения нелегированной низкоуглеродистой стали обыкновенного качества в диапазоне температур отпуска, имитирующих температуру самоотпуска в диапазоне 200–650 °С, коэффициент упрочнения при этом соответствует 2,6–1,4 (по  $\sigma_{\text{в}}$ ). При температуре отпуска 650 °С значение предела текучести повысится от исходного значения 320 до примерно 440 МПа, а при 500 °С – до 590 МПа.

На основе представленных результатов можно распространить их на стали других марок (09Г2, 09Г2С, 10ХСНД и др.) и отказаться от микролегирования этих сталей ванадием.

#### Список литературы

1. Сычков А.Б. Совершенствование технологии производства арматурного проката в бунтах // *Сталь*. – 1995. – № 2. – С. 37–39.
2. Поточная термическая обработка сортового и фасонного проката / Сычков А.Б., Шекшеев М.А., Малашкин С.О., Камалова Г.Я. // *Обработка сплошных и слоистых материалов*. – 2016. – № 1. – С. 5–24.
3. Сычков А.Б., Малашкин С.О. Оборудование и технология для термоправки – термо-механического упрочнения фасонного профиля // *Теория и технология металлургического производства*. – 2014. – № 2 (15). – С. 96–101.
4. Нагрев стальных слябов / Перетяшко В.Н., Темлянец Н.В., Темлянец М.В., Михайленко Ю.Е. – М.: Теплотехник, 2008. – 192 с.
5. Минаев А.А. Совмещенные металлургические процессы: монография. – Донецк: Технопарк ДонГТУ УНИТЕХ, 2008. – 552 с.
6. Влияние упрочняющих обработок на структуру и свойства фасонного стального проката и чугуновых валков / Белов Е.Г., Громов В.Е., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии*. – 2011. – № 28. – С. 128–133.
7. Разработка и ввод в эксплуатацию участка термоупрочнения арматуры в потоке литейно-прокатного комплекса стана 280 / Липунов Ю.И. и др. // *Сталь*. – 2010. – № 3. – С. 86–90.
8. Киркин Д.С., Калягин Ю.А., Лукин С.В. Разработка оптимальной технологии ускоренного охлаждения горячекатаной арматурной стали класса прочности А500С на стане 350 сортопрокатного цеха ОАО «Северсталь» // *Материалы 6-й межвуз. науч.-техн. конф. мол. ученых*. – Череповец: ГОУ ВПО ЧТУ, 2005. – С. 130–132.
9. Технология термического упрочнения – термической правки фасонных профилей проката / Сычков А.Б., Шекшеев М.А., Малашкин С.О., Камалова Г.Я. // *Литейные процессы*. – 2016. – № 15. – С. 73–88.
10. Моделирование структурообразования в фасонном прокате в процессе его термической обработки / Сычков А.Б., Моллер А.Б., Назаров Д.В., Камалова Г.Я., Малашкин С.О. // *Металлург*. – 2018. – № 3. – С. 10–17.

11. Разработка ускоренного охлаждения проката на стане 450 для получения комплекса механических свойств по ГОСТ 19281–2014 с возможностью исключения микролегирования стали, хозяйственная тема между ПАО «ММК» и ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»: отчет о НИР; науч. рук. А.Б. Моллер. ГР № (ЦИТИС) 316120610057-8.

#### Сведения об авторах

**Сычков Александр Борисович** – д-р техн. наук, доцент, проф. каф. ТМиЛП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: absychkov@mail.ru.

**Агутин Георгий Владимирович** – магистрант каф. ТМиЛП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: agutin6@mail.ru.

**Камалова Гюзель Ягафаровна** – аспирант каф. ТМиЛП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск. E-mail: 174kamalova@mail.ru



УДК 621.778

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАКАЛЕННО-ОТПУЩЕННОЙ ПРУЖИННОЙ ПРОВОЛОКИ

Харитонов В.А., Усанов М.Ю., Сметнёва Н.Ю.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В настоящей работе предложен способ повышения качества термически обработанной пружинной проволоки посредством выбора рациональных режимов волочения. С помощью новой методики проектирования проведена оценка существующего маршрута волочения пружинной проволоки диаметром 4,00 мм стали марки 70 и предложены варианты его совершенствования. Экспериментальная проверка предложенных маршрутов волочения подтвердила целесообразность применения новой методики проектирования режимов волочения как для производства холоднотянутой, так и закаленно-отпущенной проволоки.

**Ключевые слова:** волочение, маршрут волочения, проволока, очаг деформации, напряженное состояние.

На сегодняшний день рост «пружинного» рынка в России вызывает потребность бесперебойного обеспечения промышленных предприятий, производящих пружины, качественной проволокой как холоднотянутой, так и закаленно-отпущенной. По данным Ассоциации производителей пружин, 50 % пружин, приобретаемых АвтоВАЗом, являются импортными [1]. Это говорит о слабой конкурентоспособности пружинной проволоки и пружин отечественного производства из-за недостаточного уровня качества продукции и длительных сроков изготовления. Наибольший интерес с точки зрения технологичности и повышения эксплуатационных характеристик представляет термически обработанная пружинная проволока, которая применяется преимущественно в автомобильной промышленности. Данная проволока должна обладать высокими прочностными и усталостными характеристиками, равномерными по длине, а также однородной микроструктурой.

Получение указанных свойств закаленно-отпущенной пружинной проволоки во многом определяется режимом предварительной холодной пластической деформации – волочения [2]. Для составления маршрутов волочения, определяемых степенью суммарной и единичной деформации, а также геометрией канала волоки, существует множество различных методик. Однако в них не предусматривается оценка напряженного состояния металла. Принятая в работе методика проектирования режимов волочения основана на определении напряженного состояния гидростатического напряжения и усилия волочения с учетом их взаимодействия [3, 4],

Предложена новая методика и алгоритм расчета маршрутов волочения, отличающаяся тем,

что на стадии проектирования маршрута волочения строится кривая «гидростатическое напряжение – усилие волочения», по которой выбираются рациональные обжатия для данных рабочих углов волок. Это обеспечивает возможность получения проволоки заданного уровня качества при минимальных энерго- и материозатратах. Данная методика может применяться как при проектировании новых, так и при анализе действующих маршрутов волочения.

Напряженное состояние определяется величиной гидростатического напряжения в соответствии с графиком, приведенным в работе [3]. При отрицательном значении гидростатического напряжения в очаге деформации преобладают сжимающие напряжения, при положительном – растягивающие.

Предлагаемая методика была применена для оценки действующего маршрута волочения пружинной проволоки диаметром 4,00 мм с сорбитизированной катанки диаметром 8,00 мм стали марки 70 (табл. 1, № 1). Химический состав стали марки 70 приведен в табл. 2, характеристики катанки – в табл. 3. Для выбранного маршрута предложены 2 варианта его совершенствования (см. табл. 1): № 2 – с уменьшением полуугла рабочей зоны волоки  $\alpha$  с 6 до 5° при сохранении единичных обжатий; № 3 – с сокращением числа протяжек  $n$  и соответственно повышением единичных обжатий. Для всех случаев определены расчетные значения дельта-фактора ( $\Delta$ ), вычисля-

емого по формуле  $\Delta = \frac{\alpha}{\varepsilon} \cdot (1 + \sqrt{1 - \varepsilon})^2$ , где,  $\alpha$  –

полуугол рабочего конуса волоки, рад;  $\varepsilon$  – единичное обжатие; зоны растяжения  $h$  и усилия волочения  $P$ , которые приведены в табл. 4.

Таблица 1

Маршрут	Диаметр проволоки, мм						
	№ 1 ( $\alpha=6^\circ$ , $n=6$ )	8,00	7,12	6,29	5,59	4,98	4,45
№ 2 ( $\alpha=5^\circ$ , $n=6$ )	8,00	7,12	6,29	5,59	4,98	4,45	4,00
№ 3 ( $\alpha=6^\circ$ , $n=5$ )	8,00	6,87	5,94	5,17	4,54	4,00	

Таблица 2

Маршрут	Плавка	Содержание химического элемента, %								
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
№ 1 ( $\alpha=6^\circ$ , $n=6$ )	474ТА	0,67	0,58	0,25	0,009	0,018	0,05	0,02	0,01	0,05
№ 2 ( $\alpha=5^\circ$ , $n=6$ )										
№ 3 ( $\alpha=6^\circ$ , $n=5$ )	162УБ	0,68	0,57	0,26	0,005	0,007	0,05	0,03	0,01	0,05

Таблица 3

Маршрут	Плавка	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
№ 1 ( $\alpha=6^\circ$ , $n=6$ )	474ТА	1000-1050	14-15	43-43
№ 2 ( $\alpha=5^\circ$ , $n=6$ )		1025	14,5	43,0
№ 3 ( $\alpha=6^\circ$ , $n=5$ )	162УБ	1000-1030 1017	12-14 13,5	37-42 39,0

Таблица 4

Маршрут	Дельта-фактор ( $\Delta$ )	Зона растяжения, мм	Суммарное усилие волочения, т
№ 1 ( $\alpha=6^\circ$ , $n=6$ )	1,69-1,97	2,08-3,37	7,80
№ 2 ( $\alpha=5^\circ$ , $n=6$ )	1,50-1,64	1,65-2,53	8,20
№ 3 ( $\alpha=6^\circ$ , $n=5$ )	1,38-1,66	1,70-2,06	7,35

Волочение проволоки диаметром 4,00 мм осуществлялось на волочильном стане Sket 5000/6 магазинного типа. Перед волочением проведена подготовка поверхности катанки путем травления в растворе серной кислоты с последующим нанесением подмазочного слоя (буры). Волочение проводилось на смазке СВС-У, скорость деформирования – 100 м/мин. Для определения характера изменения механических свойств проволоки в процессе волочения по каждому маршруту отбирались образцы проволоки после каждой протяжки. Механические свойства каждого образца испытывались трехкратно, и определялось среднее арифметическое значение параметра. Результаты испытаний проволоки представлены в виде графиков на рис. 1.

Анализ полученных результатов показал, что готовая проволока диаметром 4,00 мм полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ 9389, при этом уровень временного сопротивления разрыву проволоки после волочения по маршрутам № 1-3 одинаковый, после волочения по маршрутам № 2 и 3 увеличилось число скручиваний, перегибов, а также относительное сужение готовой проволоки. Проведенный замер токовых нагрузок на двигателях волочильного стана показал, что в результате уменьшения полуугла волоки суммарная токовая

нагрузка снизилась на 13 %, а при сокращении числа протяжек – на 10 %. Преимуществом уменьшения кратности волочения также является снижение себестоимости проволоки.

Следующим этапом стало проведение закалки и отпуска полученных образцов проволоки. Термическая обработка была проведена в производственных условиях на закалочно-отпусковом агрегате (ЗОА) и в лабораторных условиях. Режимы термообработки приведены в табл. 5. На рис. 2 представлены фотографии микроструктуры проволоки до и после термической обработки. В результате закалки и отпуска проволоки более дисперсная и однородная микроструктура получена после волочения проволоки через волоки с полууглами  $\alpha=5^\circ$  (по маршруту №2).

Таким образом, экспериментальная проверка предложенных маршрутов волочения подтвердила целесообразность использования новой методики проектирования. При аналогичных значениях прочности проволока, протянутая по новым маршрутам, обладает более высокими пластическими свойствами. Уменьшение кратности волочения также способствует снижению себестоимости продукции, что делает данный вариант наиболее рациональным для производства холоднотянутой проволоки.

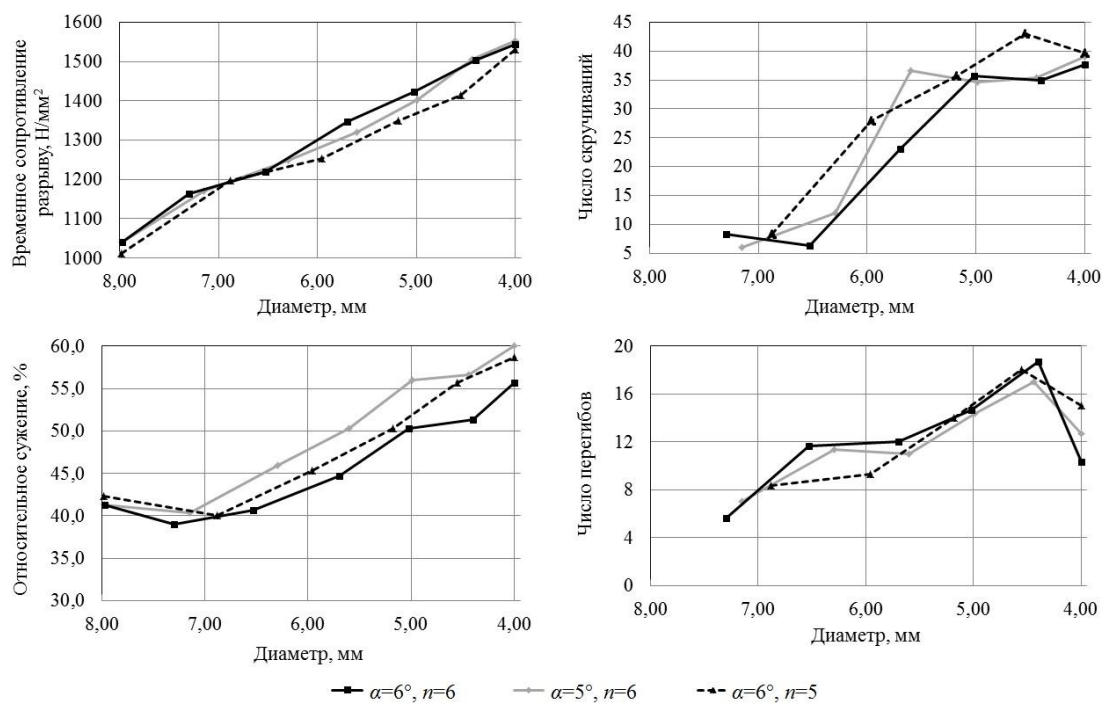


Рис. 1. Графики изменения механических свойств проволоки

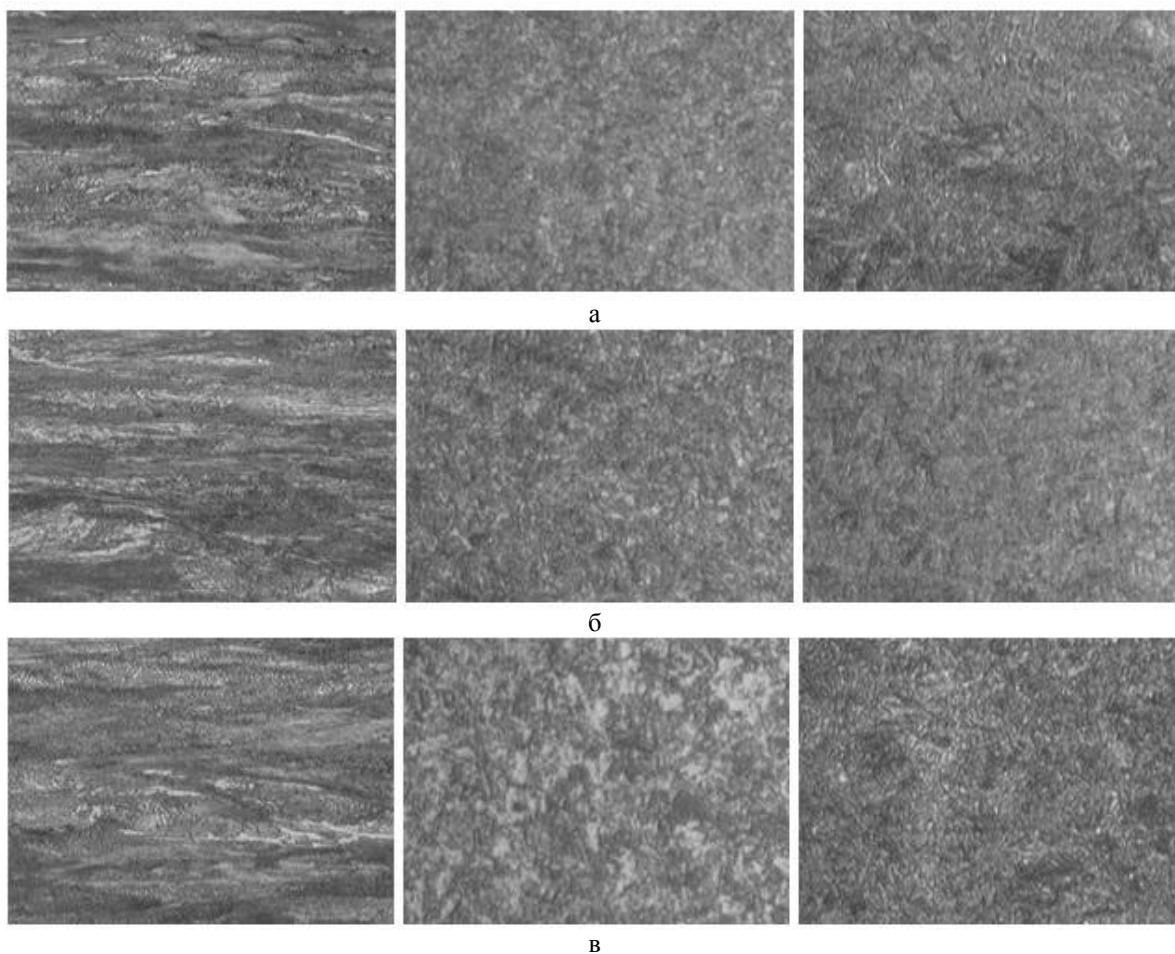


Рис. 2. Микроструктура образцов до термообработки (слева), после обработки на ЗОА (в центре) и в лабораторных условиях (справа): а – для маршрута № 1; б – для маршрута № 2; в – для маршрута № 3

Таблица 5

Режим обработки на ЗОА		Режим обработки в лабораторных условиях	
Температура нагрева в печи (по зонам), °С	800 – 870 – 870 – 860 – 860	Температура нагрева в печи, °С	830
Температура масла, °С	65	Температура масла, °С	70
Температура расплава свинца (по зонам), °С	455 – 455 – 450 – 450	Температура расплава свинца, °С	420
Скорость обработки, м/мин	4	Время выдержки в печи; в свинце	1,5 мин на 1 мм диаметра проволоки

Изготовление закаленно-отпущенной проволоки рекомендуется осуществлять с применением волок с полууглом рабочего конуса  $\alpha=5^\circ$ . Это способствует формированию более дисперсной и однородной микроструктуры термообработанной проволоки.

#### Список литературы

1. Белогур В.П. Без пружины нет машины // Пружинны. – 2017. – № 2. – С. 1-4.
2. Харитонов В.А., Сметнёва Н.Ю. Совершенствование методики расчета маршрутов волочения на основе оценки напряженного состояния проволоки в очаге деформации // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 75-й междунар. науч.-техн. конференции. Т.1. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – С. 126-129.
3. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Совершенствование методики расчета маршрутов волочения для высокоуглеродистых сталей // Бюл. НТИЭИ «Черная металлургия». – 2017. – № 8. – С. 92-95.
4. Усанов М.Ю. Проектирование маршрутов волочения в монолитных волокнах на основе анализа напряженного состояния проволоки в очаге деформации // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2017. – № 1. – С. 26-31.

#### Сведения об авторе

**Харитонов Вениамин Александрович** – канд. техн. наук, проф., проф. кафедры ТОМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Усанов Михаил Юрьевич** – ст. преп. каф. МиС, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», филиал в г. Белорецке.

**Сметнёва Наталия Юрьевна** – магистрант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 621.746.5.047

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ

Бунеева Е.А., Столяров А.М.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В работе рассмотрено влияние химического состава трубной стали, параметров технологии непрерывной разливки металла на одноручьевой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком на степень развития внутренних дефектов сляба. В результате корреляционно-регрессионного анализа удалось выявить статистически значимые зависимости степени развития гнездообразных трещин от содержания серы в трубной стали; трещин, перпендикулярных как широким, так и узким граням заготовки, от температуры металла в промежуточном ковше МНЛЗ. Установлено, что в приосевой зоне сляба частота образования трещин, перпендикулярных широким граням, в верхней части в 13 раз больше, чем в нижней части. Это свидетельствует о позднем применении мягкого обжатия заготовки в процессе отливки. Даны рекомендации для улучшения качества слябов из трубной стали.

**Ключевые слова:** трубная сталь, непрерывная разливка, технология, параметры, сляб, внутренние дефекты.

Трубная кислородно-конвертерная сталь разливается на одноручьевой слябовой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком [1]. На данной машине осуществляется мягкое обжатие отливаемой заготовки [2]. Качество макроструктуры литого металла во многом зависит от технологии непрерывной разливки стали. В работе рассмотрено влияние химического состава трубной стали, параметров технологии непрерывной разливки на степень развития внутренних дефектов сляба.

С этой целью произведен анализ результатов металлографической оценки качества макроструктуры 1264 темплетов, вырезанных из непрерывнолитых слябовых заготовок. Трубная сталь имела следующий усредненный химический состав (% по массе):

C Si Mn S P Cr Ni Cu N Al  
0,07 0,27 1,65 0,002 0,009 0,05 0,27 0,16 0,005 0,040

Средняя температура металла в промежуточном ковше МНЛЗ составляла 1547 °С. Слябы с размерами поперечного сечения (250-300)×(1500-2650) мм вытягивались из кристаллизатора со средней скоростью 0,82 м/мин.

Результаты оценки качества внутреннего строения литого металла представлены на рис. 1.

Наибольшее развитие имеют осевые химическая неоднородность, рыхлость и трещины, перпендикулярные граням заготовки.

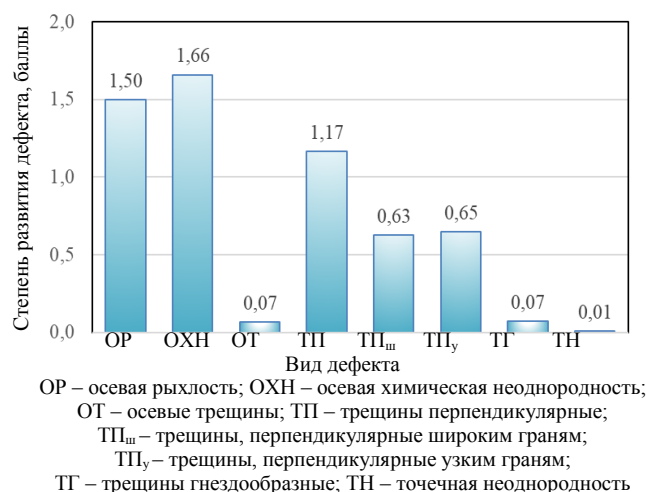


Рис. 1. Результаты изучения качества макроструктуры литого металла

Корреляционно-регрессионный анализ производственных данных позволил выявить зависимости гнездообразных трещин от содержания серы в разливаемой стали, а также трещин, перпендикулярных как широким, так и узким граням сляба, от температуры металла в промежуточном ковше МНЛЗ (рис. 2-4).

Все выявленные зависимости являются возрастающими.

Анализ расположения трещин, перпендикулярных широким граням заготовки, показал, что они часто располагаются в приосевой зоне сляба. При этом частота образования таких трещин в верхней половине заготовки примерно в 13 раз больше, чем в нижней половине (рис. 5).

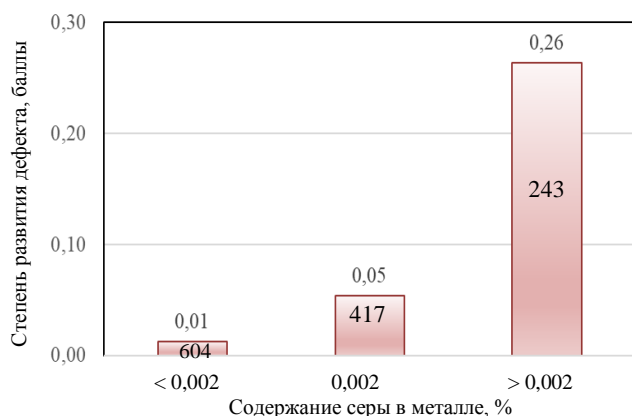


Рис. 2. Зависимость степени развития гнездообразных трещин в слябе от содержания серы в разливаемом металле: цифры внутри столбиков – количество изученных темплетов

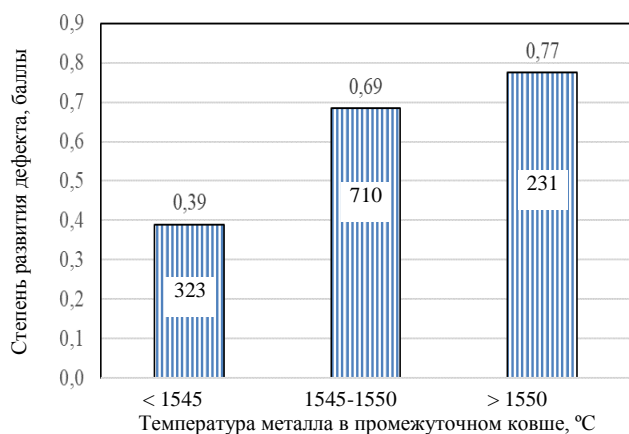


Рис. 3. Зависимость степени развития трещин, перпендикулярных широким граням сляба, от температуры металла в промежуточном ковше: цифры внутри столбиков – количество изученных темплетов

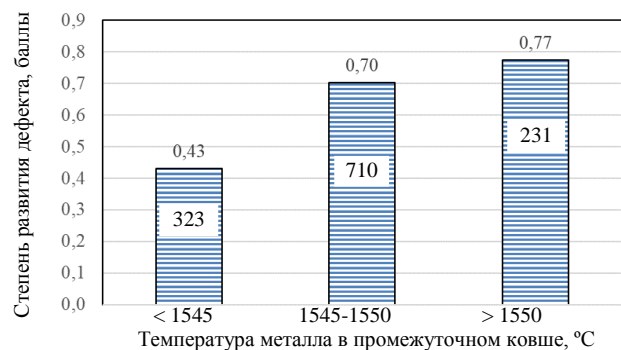


Рис. 4. Зависимость степени развития трещин, перпендикулярных узким граням сляба, от температуры металла в промежуточном ковше



Рис. 5. Данные о частоте образования трещин, перпендикулярных широким граням, в приосевой зоне заготовки

В поперечном сечении заготовки трещины, перпендикулярные широким граням, начинались на среднем расстоянии от верхней грани, равном 140 мм. По результатам расчета расстояния от зеркала металла до места на технологическом канале МНЛЗ, где сляб имел такую толщину, соответствует 13 сегменту зоны вторичного охлаждения, в котором обычно производится мягкое обжатие заготовки на величину 4,5-5,0 мм. Следовательно, причиной появления трещин, перпендикулярных широким граням заготовки, явилось позднее осуществление данного внешнего воздействия на отливку.

Таким образом, производимое в процессе разливки трубной стали мягкое обжатие слябов является недостаточно эффективным, о чем свидетельствуют высокая степень развития осевой рыхлости, осевой химической неоднородности, а также трещин, перпендикулярных широким граням заготовки, в основном расположенных в верхней части приосевой зоны сляба.

Для улучшения качества слябов из трубной стали рекомендуется:

- разливать сталь с содержанием серы не более 0,002 %;
- иметь рациональную температуру металла в промежуточном ковше МНЛЗ;
- не допускать позднее мягкое обжатие заготовки в процессе разливки.

#### Список литературы

1. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Непрерывная разливка стали. Машины непрерывного литья заготовок: учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – 193 с.
2. Мошкунев В.В., Столяров А.М. Применение мягкого обжатия непрерывнолитого сляба на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2010. – Вып. 10. – С. 57–62.

**Сведения об авторах**

**Столяров Александр Михайлович** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ТМиЛП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: sam52.52@mail.ru.

**Бунеева Евгения Александровна** – аспирант кафедры ТМиЛП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mcm@magtu.ru.

---

УДК 669:662.9:658.512

## РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ МИНИ-ЗАВОДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНОГО ПРОКАТА

Рожков Г.К.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В статье представлена актуальная информация по состоянию мирового рынка стали и раскрыты причины заинтересованности производителей металлургического оборудования и инвесторов в развитии концепции мини-заводов. Также в статье дана необходимая информация для понимания концепции мини-заводов и представлены виды их классификации.

В работе показаны сильные и слабые стороны мини-, микро- и нанозаводов. Рассмотрены возможности дальнейшего развития мини-заводов в России и в мире. Приведены примеры уже введенных в эксплуатацию объектов.

**Ключевые слова:** мини-завод, микрозавод, нанозавод, мировой рынок стали, новая нормальность, ЛПА, mini-mill, железо прямого восстановления

В контексте проведенных научно-исследовательских работ на кафедре ТОМ МГТУ им. Г.И. Носова интересным является вопрос состояния рынка мини-заводов в мире в целом и на территории Российской Федерации в частности [1, 2].

Мировой рынок стали, к настоящему моменту, перешёл в состояние, которое зарубежные эксперты называют «период новой нормальности потребления металлов». Этому периоду предшествовал бурный рост китайской экономики и, как следствие, очень быстрый прирост годового потребления стали. Сейчас же на мировом рынке повторяется ситуация 1976–2000 гг. (период предыдущей «новой нормальности»), характеризующаяся медленным ростом потребления стали в год – в среднем 1–2%.

Вместе с тем фактом, что в настоящее время мировые мощности по производству металлопродукции загружены примерно на 70% (с дельтой в 2%, в зависимости от источника), мы получаем безрадостную картину для металлургической отрасли, и в частности для производителей металлургического оборудования. Капиталовложение в новое производство снижается в среднем на 30–35% третий год подряд. Сейчас отрасль и её поставщики совместно пытаются приспособить избыток мощностей и иные факторы к текущему снижению роста потребления.

В свете вышесказанного ориентация мировых производителей металлургического оборудования на технологии мини-заводов кажется наиболее логичным ходом. Подтверждением этому может яв-

ляться четвёртая конференция «Danieli. Реальные инновации» (Fourth Danieli Innovation Meeting), проведенная с 3 по 5 октября 2017 года в штаб-квартире Danieli в Италии. Одной из ключевых тем упомянутой конференции были мини-металлургические заводы и технологии, с ними связанные [3].

Чтобы вести конструктивный разговор о каком-либо предмете, для начала необходимо определиться, что конкретно понимать под этим предметом. Что же такое мини-завод? Исходя из названия, мини-завод – это металлургический завод, выпускающий относительно малый объем и ассортимент готовой продукции, географически занимающий относительно небольшие площади.

Несмотря на то, что сейчас при упоминании мини-завода понимают максимально электрифицированное предприятие (дуговые сталеплавильные печи, электронагрев заготовок и т.д.), первые мини-заводы были организованы на базе мартеновских печей. Более того, можно сказать, что мини-заводы были всегда. Примерами таких заводов на территории РФ могут служить Омутнинский металлургический завод, основанный 245 лет назад и Гурьевский завод, основанный в 1816 году и до сих пор использующий мартены с общей производительностью 210 тыс. т в год [4].

Однако впервые о понятии мини-заводов (или, как их ещё называют, mini-mill) заговорили в США. Первый полноценный мини-завод, построенный компанией Chaparral Steel, был пущен в 1975 году в штате Техас, США. Он обладал всеми отличительными признаками мини-заводов – электродуговая сталеплавильная печь, непрерыв-



ная разливка стали и малый объем производства (200 тыс. т арматуры в год).

Также из-за связи с первыми мини-заводами США мини-заводы связывают с производством арматуры по большей части из некачественной стали, полученной из предельного лома. Некоторые вспоминают об американской компании Nucor, которая планомерно отвоевала рынок полосы в США за счёт широкого внедрения литейно-прокатных агрегатов (ЛПА).

Очень часто мини-заводы являются основными поставщиками узкоспециализированных видов проката, как, например, Гурьевский завод (Сибирь, Кемеровская область), который кроме широкого спектра фасонных и простых профилей является поставщиком четверти всех мелющих шаров, используемых в измельчении минерального сырья. Более того, благодаря нововведениям, завод наладил производство шаров повышенной объемной твердости, не имеющих аналогов в России. Это позволило ему занять одну из лидирующих позиций в данной области.

Омутнинский металлургический завод, расположенный в Кировской области, является одним из крупнейших производителей стальных фасонных профилей высокой точности среди предприятий черной металлургии России и Европы. Его сортамент насчитывает 1200 профилей (автомобилестроение, лифтостроение, горнодобывающая промышленность, станкостроение, судостроение, товары народного потребления и различный сортовой прокат). Этот завод предоставляет разработку профилей по специальным чертежам заказчика, подбор и разработку стали по требованиям заказчика и т.д.

Бервел – новый завод, открытый в 2015 году в Рязанской области, ориентированный на производство калиброванного проката (80 000 т в год) и высокопрочного крепежа (27 000 т в год), является одним из поставщиков продукции для строительства крымского моста.

При этом существуют предприятия, которые имеют в своём составе несколько мини-заводов различного характера и различных объемов. К таким предприятиям относится НМЛК-Урал, завод в Нижних Сергах, производство которых специализируется на традиционной для мини-заводов арматурной стали. Также в состав предприятия НМЛК-Урал входят заводы, расположенные в городах Ревда (сталеплавленное производство) и Берёзовский (производство катанки).

Если говорить о Европе, то можно посмотреть на немецкий мини-завод Lech-Stahlwerke (Meitingen, Германия), примерно половину продукции которого составляет арматурная сталь, а половину – точный сортовой прокат для автомо-

билей немецких марок, таких как Мерседес и БМВ.

Каждый из представленных мини-заводов обладает различной производительностью, начиная от 100 тыс. т (Бервел) до 2 млн. тонн в год (завод по производству непрерывнолитой заготовки группы НМЛК-Урал в городе Ревда). Разница объемов составляет 20 раз. А самые мелкие из существующих мини-заводов имеют производительность, начинающуюся от 45 тыс. т в год. Поэтому для удобства мини-заводы начали классифицировать по объему выпускаемой продукции как мини-, микро- и нанозаводы.

Например, в книге «Металлургические мини-заводы» [5] предложена классификация (см. таблицу). При этом наименования групп заводов изменены на принятые на Западе. Также для каждой группы приведены стратегии развития производства и поведения на рынке, что указывает на необходимость подразделения мини-заводов по объему их производства.

Классификация мини-заводов по объёму производства

Производительность, тыс. т/год	Наименование группы	Стратегии развития заводов данной группы
40 – 230	Нанозавод	специализация в производстве продукции; фиксация определённого сегмента рынка
230 – 600	Микрозавод	фиксация определённого сегмента рынка; специализация в производстве продукции; минимизация издержек производства и реализации продукции
600 – 2000	Мини-завод	минимизация издержек производства и реализации продукции; комбинирование разных стратегий

Второй основной классификацией, которую стоит упомянуть при разговоре о мини-заводах, является классификация по составу оборудования. Так, по составу оборудования мини-заводы можно условно разделить на три группы:

1. Усечённые заводы, изготавливающие полупродукт в виде литых заготовок.

2. Передельные заводы, имеющие в своём составе только прокатные станы или иное оборудование для доведения полуфабрикатов металлургической продукции до конечного вида. Такие заводы не предполагают возможность собственной выплавки стали, а рассчитаны на использование сторонних материалов.

3. Заводы полного цикла, имеющие собственные печи для выплавки стали, агрегаты непрерывной разливки, прокатное оборудование и, возможно, иное оборудование, как заводы второй группы.

Чтобы однозначно охарактеризовать мини-завод, необходимо определить к какой из групп в классификации он относится. Чёткой зависимости между классификациями по оборудованию и объёму производства не наблюдается. В мире имеются заводы всех комбинаций групп, представленных классификаций. Усечённые заводы, производящие заготовку, как правило, имеют большие объёмы годового производства и относятся по этому признаку к мини-заводам.

При рассмотрении дальнейших направлений развития концепции мини-заводов необходимо принимать во внимание, что переизбыток производственных мощностей металлургической промышленности, ставший нормой последних десятилетий, не остановил плавный рост производственных мощностей. Причины такого поведения рынка несколько. Одной из них является желание региональных участников рынка самостоятельно обеспечить свой регион продукцией. Примером подобных желаний могут выступать относительно недавно установленные США пошлины на импорт стали. Эти пошлины были призваны стабилизировать внутренние цены и объёмы производства. Некоторые эксперты считают, что примеру США могут последовать и европейские страны, стремящиеся защитить своего производителя от дешёвой китайской стали. Возможно, такое поведение является ответом на опасность в последствии попасть под экономическое влияние Китая [3].

В сложившихся экономических условиях преимущество имеет тот поставщик, который может обеспечивать не только самую низкую цену на продукт, но и минимальные логистические издержки с рациональными сроками поставки. В этом аспекте мини-заводам нет равных. Максимально близкое расположение завода к потребителю является одним из основных условий в концепции мини-заводов. Что касается минимальных сроков поставки, так, например, у микрозаводов концепции Danieli MI. DA полный цикл производ-

ства продукции, начиная от скрапа и заканчивая прокаткой, занимает всего два часа. Один из таких заводов успешно эксплуатируется компанией CMC STEEL в Аризоне, США с 2008 года [6].

Нельзя не отметить, что с ростом количества мини-заводов растёт и потребность в ломе. Несмотря на естественное желание производителей использовать лом высокой чистоты, спросом пользуется вторичное сырьё любого качества. Это создаёт естественные проблемы и является источниками известных стереотипов. Самым распространённым является утверждение, что из лома ничего «путного» произвести невозможно, а значит, и сами мини-заводы качественную продукцию выпускать не могут. Опровержением этих слов служит список заводов и их сортамента, приведенный выше. Тем более, что сырьём для печной плавки может является не только лом, но и передельный чугун (существуют мини-заводы с небольшими доменными печами) и перспективное железо прямого восстановления.

О железе прямого восстановления (ЖПВ) стоит сказать отдельно. Именно с использованием ЖПВ современная металлургия связывает надежды о создании экологически более чистой альтернативы доменному переделу. Проблема загрязнения окружающей среды металлургическими предприятиями существует по всему миру, но как в Европе, так и в США не существует мини-завода, интегрированного с производством железа прямого восстановления. При этом в России существует Оскольский ЭМК, для которого окатыши являются основным железосодержащим сырьём, получаемым из руды Курской магнитной аномалии [7].

Основной причиной упомянутой выше ситуации является удорожание производства при использовании окатышей или брикетов прямого восстановления. В среднем производитель, использующий ЖПВ, теряет 40-50 долларов на тонну [3]. В данном вопросе Россия, являющаяся обладательницей как железной руды, так и природного газа, необходимых для производства железа прямого восстановления, может стать одним из ключевых игроков в производстве брикетов ЖПВ. Транспортировка более дешёвых окатышей по морю очень опасна. Имеются упоминания о пожарах, случившихся при транспортировке окатышей ЖПВ [7]. Вследствие этого окатыши более удобны для обращения на внутреннем рынке.

Перспективной смотрится идея совмещения установок ЖПВ и мини-заводов. Возможность загрузки в печь горячих окатышей позволяет сократить затраты энергии на этапе литейного передела [8]. Более того, применение ЖПВ позволяет исполь-

зывать не только дуговые печи, но и индукционные. Это становится возможным благодаря значительно более плотной укладке шихты, состоящей из окатышей и брикетов, в рабочем пространстве печи, чем при использовании лома [9].

Для производителей современного металлургического оборудования мини-заводы являются одним из основных направлений развития. Целевой аудиторией в данном случае являются региональные компании, для которых мини-заводы являются хорошей возможностью удовлетворить местный спрос на сталь, сочетая это с рациональными капитальными и операционными затратами.

Существование мини-завода обеспечивается грамотным управлением: сортаментным позиционированием на рынке, отношением к клиентам и т.д. При этом конкуренция между мини-заводами поддерживается в силу постоянного сокращения издержек за счёт совершенствования технологий.

На данный момент перед участниками мирового металлургического рынка не стоит вопрос: «Строить мини-завод или нет?». Вопрос звучит следующим образом: «Где и каких размеров строить мини-завод?».

#### Список литературы

1. Рожков Г.К., Левандовский С.А. Особенности нагрева старогодных рельсов для производства сортового проката // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2017. – Т. 1. – С. 93-96.
2. База данных технологических параметров как основа управления сортопрокатным производством / Кинзин Д.И., Левандовский С.А., Рожков Г.К., Саранча С.Ю. // Калибровочное бюро. – 2017. – № 9. – С. 8-11.
3. Корпорация Danieli. Идеи для «нового нормального» потребления металлов // DaNews. – Январь 2018. – № 177. – С. 9-13.
4. Материалы конференции «Мини-миллы: преимущества и недостатки» [Электронный ресурс] // Металлоснабжение и сбыт: [сайт]. [2013]. URL: <http://metalinfo.ru/ru/magazine/livestreams/23> (дата обращения: 10.Май.2018).
5. Металлургические мини-заводы. Т. 1 / Смирнов А.Н., Сафонов В.М., Дорохова Л.В., Цуприн А.Ю. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 469 с.
6. MI.DA. ESC-Energy Saving Compact plants [Электронный ресурс] // Danieli: [сайт]. URL: [https://www.danieli.com/en/products/processes-technologies/product-lines/mi-da-esc-energy-saving-compact-plants\\_26\\_188.htm](https://www.danieli.com/en/products/processes-technologies/product-lines/mi-da-esc-energy-saving-compact-plants_26_188.htm) (дата обращения: 03.Май.2018).
7. Кириченко И.С., Алексахин А.В. Развитие мирового и отечественного производства железа прямого восстановления // Молодой учёный. – 2016. – № 2. – С. 85-90.
8. 20 лет опыта с технологией подогрева лома / Апфель Й., Хайн М., Хубер Х.Й., Чатан Д. // Литье и металлургия. – 2015. – № 4. – С. 86-92.
9. Сойфер В.М. Использование продуктов прямого восстановления железа в электросталеплавильных печах // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2006. – № 33. – С. 32-34.

#### Сведения об авторе

**Рожков Григорий Константинович** – студент ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [joyloony@gmail.com](mailto:joyloony@gmail.com)

УДК 669.162.214

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПАО «ММК»

Прошкин Ю.В.<sup>1</sup>, Макарова И.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Рассматриваются наиболее совершенные конструкции холодильников, способы охлаждения доменных печей, их плюсы и минусы. Изучены медные и чугунные холодильники, применяемые на доменных печах. Сравнительный анализ показал, что целесообразнее использовать медные холодильники в связи с их более долгим сроком службы, повышенной теплопроводностью, отсутствием накипи на стенках змеевиков. Рассмотрены наиболее известные виды охлаждения. При их изучении и сравнении были выявлены плюсы и минусы каждого способа. Выявлено, что охлаждение химически очищенной водой имеет ряд преимуществ: увеличение срока эксплуатации доменной печи без замены холодильных плит, сокращение отложений на внутренних стенках трубок, улучшение условий обслуживания системы охлаждения, затраты на внедрение являются разовыми, а экономия постоянная.

**Ключевые слова:** доменная печь, современные конструкции холодильников, охлаждение доменных печей, чугунный плитовый медный холодильник, холодильник, охлаждение технической водой, пароиспарительное охлаждение, охлаждение химически очищенной водой.

Производство чугуна встречает на своем пути множество проблем, которые нуждаются в решении. Одна из них – физический износ металлоконструкций, трубопроводов, оборудования, снижение эффективности охлаждения доменной печи, что приводит к увеличению аварийных стоянок и планово-предупредительных ремонтов. Все это следствие устаревшего способа охлаждения доменной печи. На рис. 1 показаны вышедшие из строя холодильники доменной печи.



Рис. 1. Вышедшие из строя холодильники доменной печи

Улучшение технико-экономических показателей работы печей и увеличение продолжительности их кампании невозможно без внедрения но-

вых конструктивных решений в устройстве как самих доменных печей, так и вспомогательного оборудования. Первостепенная задача капитальных ремонтов доменных печей изменилась в сторону продления кампании. При проведении капитальных ремонтов ставится задача о продлении кампании печи до 15÷20 лет.

В работе рассмотрены наиболее современные конструкции холодильников и способы охлаждения доменных печей, их плюсы и минусы.

Существующие виды охлаждения подразделяются на:

- 1) охлаждение технической водой;
- 2) пароиспарительное охлаждение;
- 3) охлаждение химически очищенной водой.

Холодильники доменной печи могут быть изготовлены из чугуна (рис. 2, а) или меди (рис. 2, б).

Недостатки чугунных холодильников:

- 1) зазор между залитыми трубками охлаждения и чугуном;
- 2) снижение эффективности теплоотвода;
- 3) низкая теплопроводность;
- 4) вздутие трубопроводов холодильника при высокой интенсивности его нагрева.

Все вышеперечисленные недостатки можно устранить путём применения холодильников из меди.

Достоинства медных холодильников:

- 1) физические свойства меди превышают показатели теплопроводности чугуна в 7-8 раз;

2) свойство меди, охлаждаемой реагентом, определяет интенсивный теплообмен между поверхностью холодильника и процессами, протекающими в доменной печи, что создает условия формирования защитного слоя – «гарнисажа» на поверхности холодильников, повышает срок их службы до 15-20 лет.

Медные холодильники имеют недостаток. Система охлаждения медными холодильниками требует больше затрат на изготовление и эксплуатацию холодильников. Однако накопленный на Череповецком металлургическом комбинате опыт с применением медных холодильников показал, что повышенные затраты полностью окупаются продлением срока службы шахты и распара доменных печей.

Охлаждение технической водой (рис. 3) имеет следующие недостатки:

1) регулирование ее расхода практически невозможно, т.к. вода подается из водоема непрерывно в систему охлаждения с расчетом на максимальные тепловые нагрузки;

2) высокая вероятность засорения фильтров и охлаждающих элементов, когда речная вода содержит много ила и речной молодежи;

3) в летний период температура воды значительно повышается, что приводит к ухудшению охлаждения элементов доменной печи.

При повышении температуры воды свыше 40°C происходит выпадение солей и забивание трубок (змеевиков) холодильников. Установлено, что слой накипи в 1 мм повышает температуру рабочей стороны холодильника на 80–100°C при обычных тепловых нагрузках и резко ухудшает его охлаждаемую поверхность.

Пароиспарительное охлаждение (рис. 4) имеет следующие достоинства:

1) привлекательно с точки зрения экономии энергии;

2) требуется намного меньше воды на охлаждение доменной печи, т.к. используется внутренняя теплота парообразования.

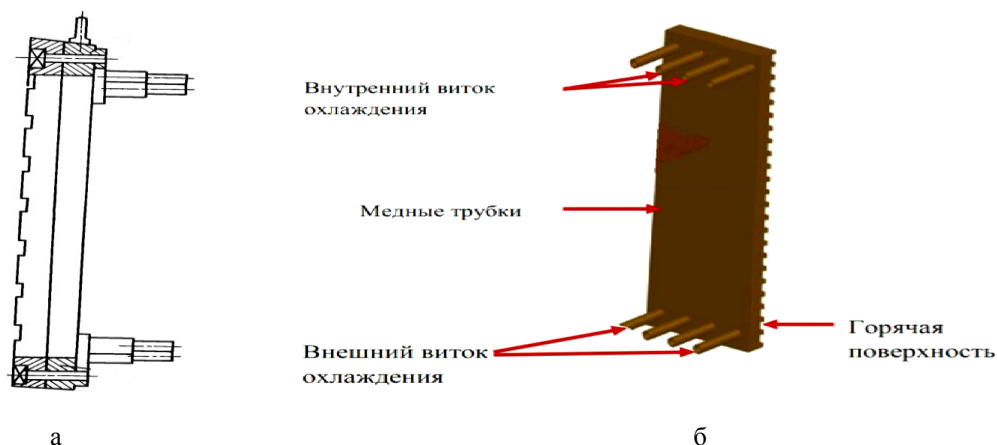


Рис. 2. Чугунный (а) и медный (б) холодильники

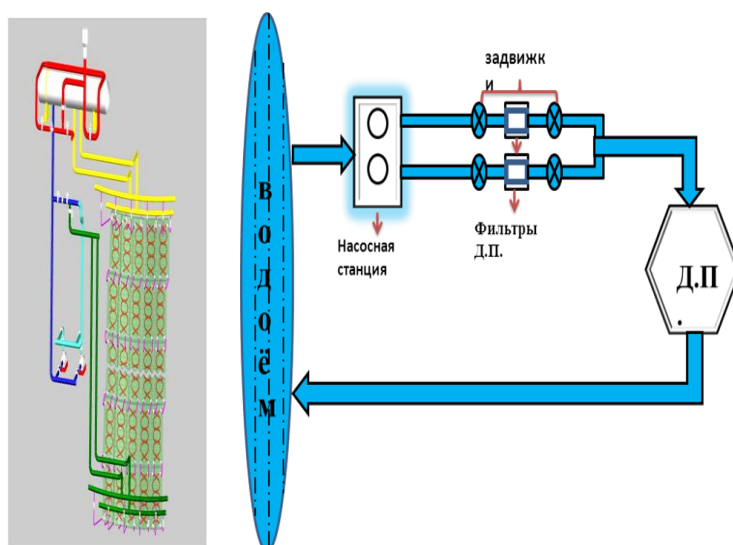


Рис. 3. Охлаждение доменной печи технической водой

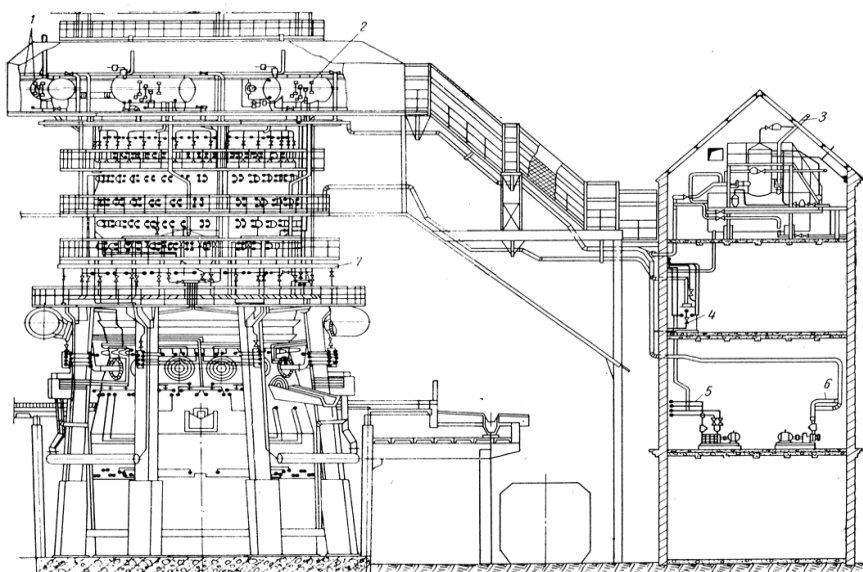


Рис. 4. Пароиспарительное охлаждение доменной печи

Пароиспарительное охлаждение имеет следующие недостатки:

1) за счёт разных тепловых зон доменной печи формируется нестабильная циркуляция, тем самым создаётся неравномерная скорость потока водяного пара в отдельных трубках, вследствие чего происходит образование накипи, дальнейший перегрев и разрушение холодильных плит;

2) из-за большого объёма и давления пара создается высокая опасность, что регламентирует соответствующие требования, установленные для газоопасных мест 1-й группы «Правила эксплуатации сосудов работающих под давлением».

Отличительной чертой системы охлаждения химически очищенной водой в замкнутом контуре (рис. 5) является установка циркуляционных насосов и теплообменников типа вода-вода. Такая система охлаждения может работать как в режиме охлаждения холодной химически очищенной водой, так и в резервном испарительном режиме. При этом имеются следующие преимущества:

1) стабильная скорость воды во всех циркуляционных контурах ( $1,7 \div 1,8$  м/с);

2) отсутствие отложений на стенках труб холодильных плит, высокая стабильность теплосема;

3) низкий расход химически очищенной воды;

4) легкость обнаружения неисправного элемента и возможность контроля расходов воды как охлаждаемым секторам доменной печи (до и после холодильников), так и по каждому циркуляционному контуру при условии установки расходомеров на входе и на выходе из циркуляционного контура;

5) улучшение условия образования гарнисажа на холодильных плитах.

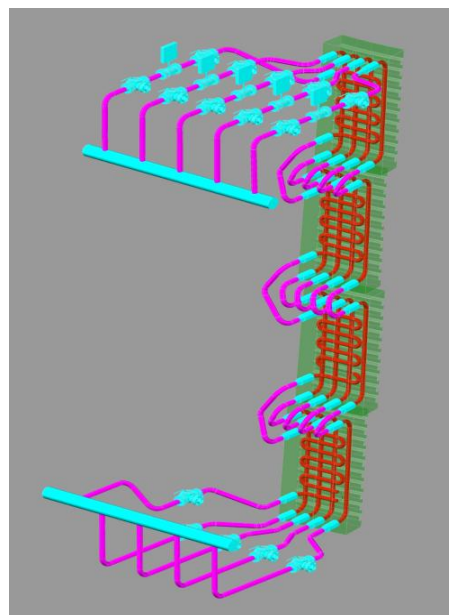


Рис. 5. Схема охлаждения доменных печей химически очищенной водой в замкнутом контуре

Использование химически очищенной воды в системе охлаждения доменной печи увеличит срок эксплуатации холодильного оборудования, существенно сократит отложения на внутренних стенках трубок и улучшит условия обслуживания системы охлаждения. Использование медных теплообменников с более высоким коэффициентом теплопередачи улучшит образование гарнисажа на внутренней поверхности печи, что способствует защите холодильника от прогара.

Внедрение систем охлаждения химически очищенной водой в замкнутом контуре потребуют дополнительных капитальных затрат, однако преимущества данной системы являются очевидны-

ми, при этом затраты на внедрение являются разовыми, а экономия будет постоянная на весь период эксплуатации. Увеличение срока эксплуатации доменной печи без замены холодильных плит до 20 лет.

Применение системы химически очищенной воды в замкнутом цикле при строительстве доменных печей повысит эффективность охлаждения ДП, позволит своевременно обнаруживать сгоревший элемент, а также существенно увеличит срок кампании печи.

Для проектируемой доменной печи №11 ПАО «ММК» предлагается использовать систему охлаждения, представленную на рис. 6.

Внедрение систем охлаждения химочищенной водой (см. рис. 6) в замкнутом контуре потребуют дополнительных капитальных затрат, однако преимущества данной системы очевидны: затраты на внедрение являются разовыми, а экономия будет постоянная на весь период эксплуатации. Увеличение срока эксплуатации доменной печи без замены холодильных плит будет доходить до 15 лет.

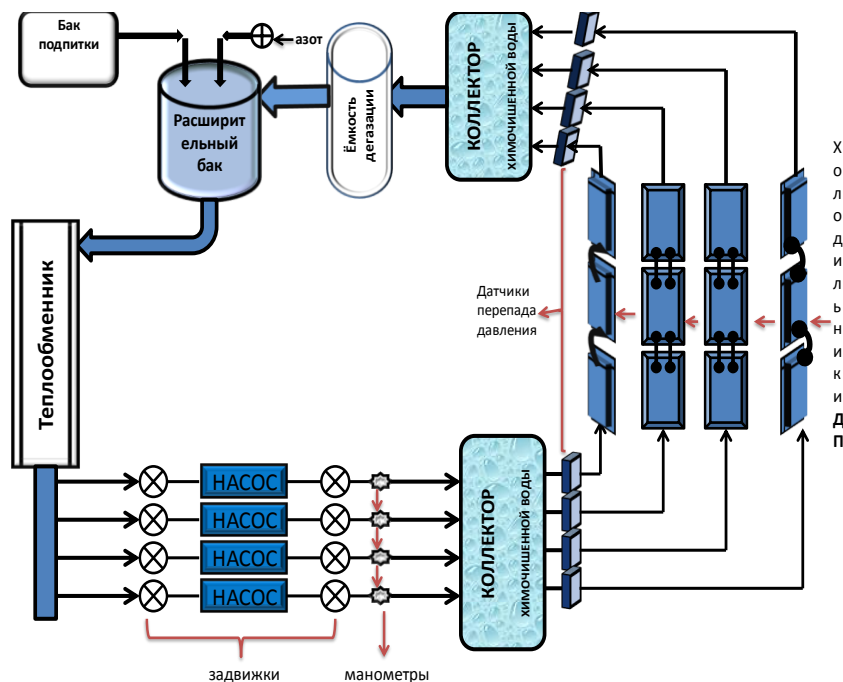


Рис. 6. Предлагаемая система охлаждения доменной печи №11 ПАО «ММК» химически очищенной водой в замкнутом контуре

### Сведения об авторах

**Прошкин Юрий Владимирович** – машинист шихтоподачи ДП №4, ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск.

**Макарова Ирина Владимировна** – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: m.irina1976@mail.ru

УДК 621.778

## УСТАНОВКА БЕСФИЛЬЕРНОГО ВОЛОЧЕНИЯ И ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНКИ НА КОНИЧЕСКИХ РОЛИКАХ

Пащенко К.Г., Бахматов Ю.Ф., Кальченко А.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Традиционно проволоку получают из катанки. Перед волочением через волок (фильеры) с поверхности катанки удаляют окалину. Волочение без использования фильер (бесфильерное) позволяет вести обработку катанки без удаления окалины, т.е. создать совмещенный процесс удаления окалины и волочения.

**Ключевые слова:** пластичность, твердость, временное сопротивление разрыву, бесфильерное волочение, волочильный стан, волока, проволока, катанка, удаление окалины, ультразвук, обжатия, вытяжки.

Повышение эффективности технологических процессов обеспечивается разработкой операций, имеющих близкие значения оперативного времени, позволяющих создавать непрерывные блоки технологических операций [1-3]. Такой подход приводит, кроме всего прочего, к уменьшению времени переходных процессов, влияющих на экономические показатели и показатели качества продукции. Так как определяющей операцией при обработке катанки является волочение, то операции подготовки поверхности катанки к волочению должны иметь оперативное время близкое со временем пластической деформации. Имеется много технологических решений конструирования таких операций, в частности [4-5], в которых собственно операция волочения производится на традиционном волочильном инструменте. Именно это создает определенные трудности, связанные с износостойкостью волок. Те же проблемы возникают в процессах знакопеременного изгиба с растяжением – окалиноломанием. Но развитие этого направления, связанного со значительным увеличением вытяжки до 1.5- 2.0, позволяет совместить две операции без использования волок на первых проходах [1-3]. Проведенные исследования в этом направлении позволили создать новый инструмент для решения задачи совмещения двух операций: удаления окалины и пластической деформации [4-6]. Операция вытяжки проволоки без использования волоки по современной терминологии попадает под понятие «бесфильерное волочение», операция предполагает ввод в очаг деформации дополнительной энергии: тепловой – нагрев, механической – изгиб и т.д. [4]. Исследования позволили построить аналитическую модель для ресурса пластичности [6-8], усталостной

прочности для проволоки при знакопеременных нагрузках изгиба-растяжения. Такая модель актуальна для решения задач механики сплошных сред при прогнозировании работоспособности алмазно-канатного инструмента [9-16].

В предлагаемом устройстве поверхность металла испытывает растяжение-сжатие, аналогично протяжке в роликовых окалиноломателях, но при значительном растяжении, вплоть до достигаемых в фильерах вытяжек. Внешний вид устройства бесфильерного волочения показан на рис. 1. Экспериментально определены компоновка и соотношение размеров элементов конструкции установки. На рис. 2 показана лабораторная установка для исследования параметров бесфильерного волочения проволоки. Цифрами обозначены: 1 – проволока; 2 – инструмент для бесфильерного волочения; 3 – генератор ультразвука; 4 – барабаны натяжной станции; 5 – привод установки.

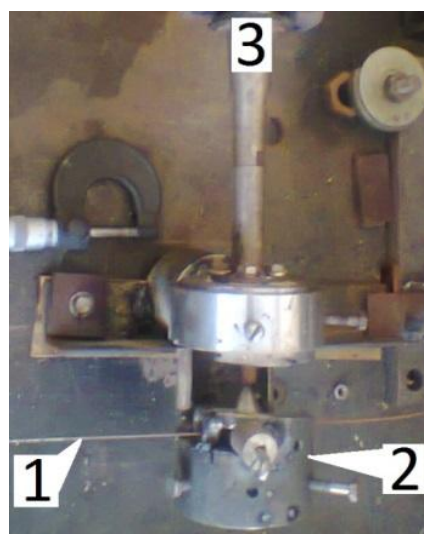


Рис. 1. Конструкция инструмента для установки бесфильерного волочения



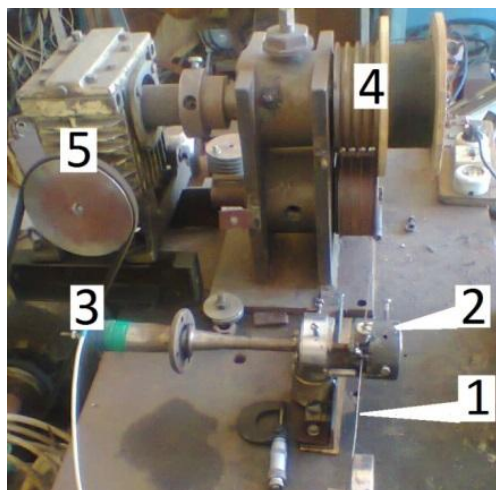


Рис. 2. Лабораторная установка для исследования параметров бесфильтрационного волочения проволоки

Для снижения сопротивления металла деформации и снижения сил трения, увеличения пластической деформации вытяжка происходит с наложением силового ультразвука, подводимого в зону деформации через волновод (источник ультразвука на рисунке не показан).

Предварительные исследования пластического растяжения с изгибом показали возможность использования предложенной схемы деформации для реализации совмещенного процесса очистки от окалины – волочение [7, 8].

#### Список литературы

1. Совмещенный процесс бесфильтрационного волочения и очистки поверхности катанки / Ю.Ф. Бахматов, К.Г. Пашенко, А.А. Кальченко, А.С. Белов, Н.Ш. Тютряков // *Металлург.* – 2014. – № 4. – С. 88-91.
2. Технологические основы пластической обработки катанки в совмещенном процессе с воздействием ультразвуком / Ю.Ф. Бахматов, К.Г. Пашенко, Э.М. Абдулин, О.В. Ежов, Н.В. Смирнов // *Обра-*

- ботка сплошных и слоистых материалов. – 2013. – № 1 (39). – С. 89-92.
3. Установка для совмещенного процесса бесфильтрационного волочения и очистки поверхности катанки / Ю.Ф. Бахматов, К.Г. Пашенко, А.А. Кальченко, В.В. Рузанов, С.В. Михайлицын, А.В. Ярославцев, К.К. Ярославцева, Д.В. Терентьев, Д.А. Шашкин // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* – 2014. – № 12-1. – С. 8-11.
4. Бахматов Ю.Ф., Пашенко К.Г. Влияние геометрических размеров отражательных элементов при бесфильтрационном волочении с локализацией очага деформации ультразвуковой энергией // *Процессы и оборудование металлургического производства: сб. науч. трудов.* – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – С. 320-323.
5. Бахматов Ю.Ф., Пашенко К.Г. Устройство для волочения проволоки с ультразвуком через калибр сформированный бойками резонансных размеров, с динамическим замыканием изделием (проволокой) зазора между ними: патент на полезную модель № 122920 РФ, 12.07.2012.
6. Влияние технологических параметров на обрывность проволоки при бесфильтрационном волочении / К.Г. Пашенко, Ю.Ф. Бахматов, К.А. Фролушкина, Б.Б. Зарицкий // *Материалы 67-й науч.-техн. конф.: сб. докл.* – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2009. – Т. 1.
7. Геометрические характеристики проволоки после совмещенного процесса бесфильтрационного волочения и очистки поверхности // К.Г. Пашенко, Ю.Ф. Бахматов, А.А. Кальченко, В.В. Рузанов, С.В. Михайлицын, А.В. Ярославцев, К.К. Ярославцева, Д.В. Терентьев, М.А. Шекшеев, Н.Ш. Тютряков, Д.А. Шашкин // *Успехи современного естествознания.* – 2014. – № 12-4. – С. 421-424.
8. Сравнительные свойства проволоки в совмещенном процессе бесфильтрационного волочения и очистки поверхности / К.Г. Пашенко, Ю.Ф. Бахматов, А.А. Кальченко, В.В. Рузанов, С.В. Михайлицын, А.В. Ярославцев, К.К. Ярославцева, Д.В. Терентьев, М.А. Шекшеев, Н.Ш. Тютряков, Д.А. Шашкин // *Современные наукоемкие технологии.* – 2015. – № 2. – С. 107-111.

#### Сведения об авторах

**Пашенко Константин Георгиевич** – ст. преп. каф. МиТОДиМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Бахматов Юрий Федорович** – канд. техн. наук, проф. каф. физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Кальченко Александр Андреевич** – канд. техн. наук, доцент каф. МиТОДиМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 621.3.078.4

## СИСТЕМА ПОДАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

Лукьянов С.И., Мартынов К.С.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В работе приведены возможные причины и следствия появления устойчивых колебаний уровня жидкого металла в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок в процессе разливки стали. Изложены предпосылки для создания системы, которая будет детектировать такие нежелательные колебания уровня жидкого металла в кристаллизаторе, а затем, согласно разработанной методике, выполнять функцию их гашения при помощи электромеханического привода стопорного механизма.

**Ключевые слова:** машина непрерывного литья заготовок, кристаллизатор, уровень жидкого металла, электромеханический привод стопорного механизма, устойчивые колебания.

Более 96% стали производится способом непрерывного литья [1]. При таком способе производства качество непрерывно литой заготовки во многом зависит от стабильности уровня металла в кристаллизаторе, который напрямую связан с величинами расхода стали из промежуточного ковша и кристаллизатора [2,3]. Расход стали из кристаллизатора прямо зависит от скорости вытягивания заготовки, которая определяется требуемым температурно-скоростным режимом. Наиболее распространенной схемой разливки стали является применение стопорной пары. В этом случае расход металла регулируется положением головки стопора относительно стакана-дозатора (рис. 1).

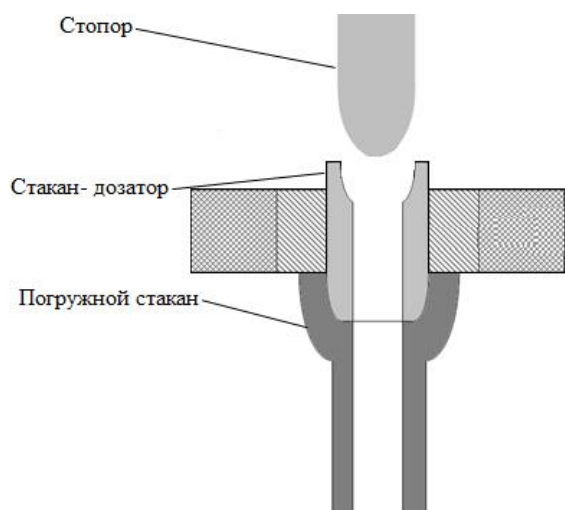


Рис. 1. Схема стакан – дозатор – стопор – моноблок

При разливке стали возникают случаи, когда невозможно соблюдать требуемую точность под-

держания уровня металла в кристаллизаторе ( $\Delta H = \pm 2$  мм от заданного уровня  $H_z$ ) [4]. К ним относится образование устойчивых колебаний уровня жидкого металла в кристаллизаторе МНЛЗ (рис. 2).

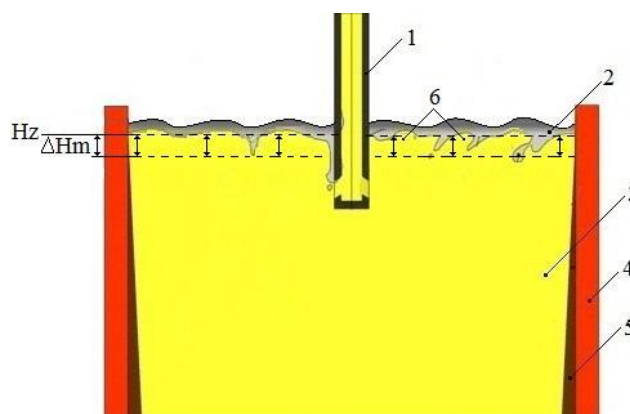


Рис. 2. Вид кристаллизатора МНЛЗ:  
1 – погружной стакан; 2 – шлакообразующая смесь;  
3 – жидкий металл; 4 – стенка кристаллизатора;  
5 – твердая корочка металла;  
6 – колебания уровня металла

В результате чего при отклонении  $H_z > H_z + \Delta H_m$  возможен залив жидкого металла на твердую корочку, что может привести к увеличению глубины следов качания и захвату шлака. А при  $H_z < H_z - \Delta H$  внутренняя поверхность твердой корочки слитка окисляется, и возникают подповерхностные дефекты (завороты корочки слитка, трещины в затвердевшей оболочке сляба), также возможно образование пояса в теле сляба [5].

Отсюда стабилизация уровня металла в кристаллизаторе – важная задача автоматизации МНЛЗ.

При стационарном режиме разливки, как правило, нет интенсивных возмущений, влияющих на

положение уровня металла в кристаллизаторе. Поэтому к факторам, вызывающим отклонение уровня металла в кристаллизаторе, можно отнести следующие:

- разрушение или размывание стопора-моноблока;
- колебания общего момента сопротивления вытягиванию заготовки;
- размывание или зарастание внутренней полости стакана-дозатора или погружного стакана;
- изменение уровня налива металла в промежуточном ковше;
- выставление полотна радиусного участка ручья.

С некоторыми из них на МНЛЗ №1–5 ПАО «ММК» справляется система автоматического поддержания уровня металла в кристаллизаторе за счет электромеханического привода стопорного механизма и электромагнитного датчика уровня металла. Структура системы представлена на рис. 3.

Указанная система позволяет поддерживать уровень металла, заданный технологическим персоналом через пульт разливщика. Блок сбора и обработки сигналов сравнивает фактический уровень металла в кристаллизаторе, измеренный датчиком уровня металла, с заданным и выдает сигнал задания положения стопора на блок управления приводом стопорного механизма. Блок управление привода стопорного механизма отрабатывает возмущающие воздействия, оказы-

ваемые на электромеханический привод стопорного механизма.

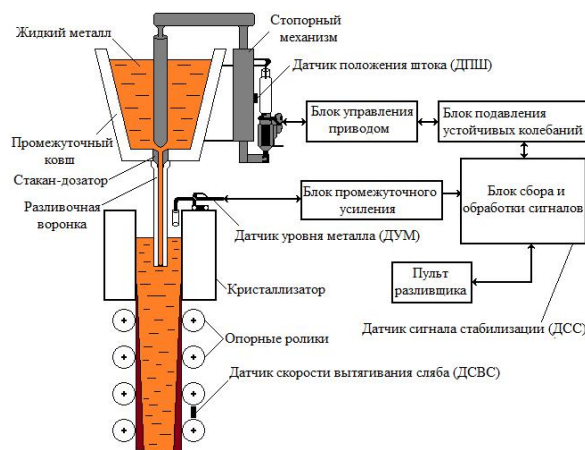


Рис. 3. Структура системы поддержания уровня металла в кристаллизаторе

На рис. 4 приведена статистика работы системы.

Из представленной диаграммы видно, что на 90,9% система справляется с поддержанием уровня металла в режиме стабилизации. Остальные 9,1% приходится на устойчивые колебания, которые существующая система не может подавить.

Пример устойчивых колебаний, зафиксированных системой автоматического поддержания уровня металла в кристаллизаторе, представлен на рис. 5.

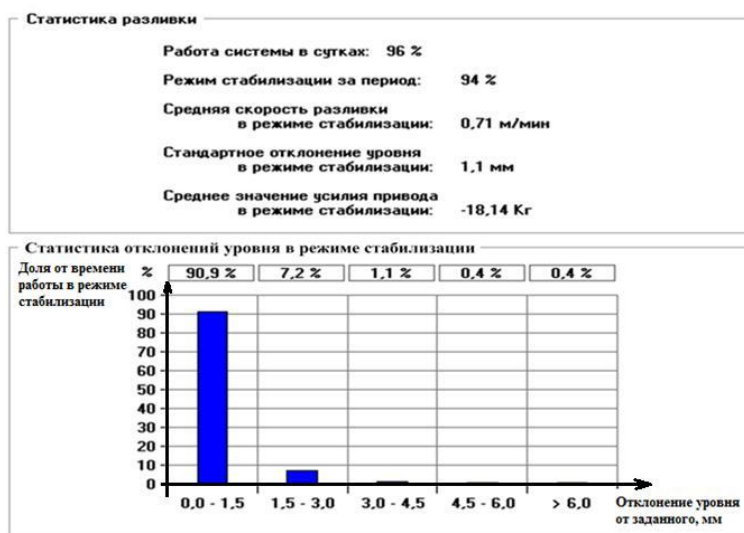


Рис. 4. Статистика работы существующей системы

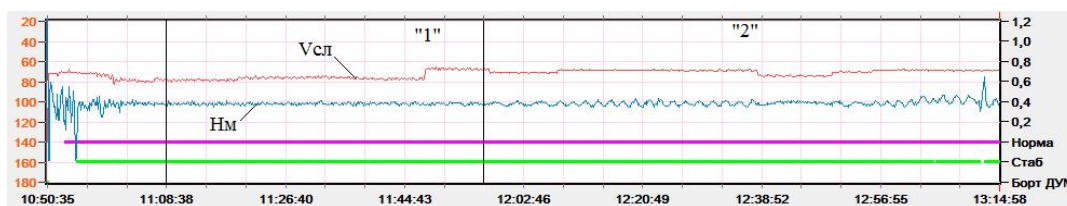


Рис. 5. Пример устойчивых колебаний уровня жидкого металла в кристаллизаторе МНЛЗ

На рис. 5 представлен тот случай, когда в результате изменения скорости разливки  $V_{сл}$  возникают устойчивые колебания уровня металла  $H_m$ . На участке 1 при стационарной скорости разливки  $V_{сл} = 0,6$  м/мин уровень металла изменяется в пределах нормы ( $\pm 2$  мм от заданного уровня). Затем при увеличении скорости до 0,8 м/мин (участок 2) возникают устойчивые колебания, амплитуда которых выходит за пределы допустимого диапазона.

Поэтому для обеспечения надежной работы всей МНЛЗ в существующую структуру системы автоматического поддержания уровня металла в кристаллизаторе (см. рис. 3) необходимо добавить блок, реализующий разработанную методику подавления колебаний уровня жидкого металла в кристаллизаторе за счет электромеханического привода стопорного механизма. Стоит отметить, что при формировании задания на привод следует учитывать время транспортного запаздывания, которое складывается из времени перемещения жидкой стали от стакана-дозатора до кристаллизатора, которое зависит от свойств стали, высоты подъема промежуточного ковша и конечной ско-

рости обработки сигнала. Такой подход позволит увеличить время работы системы в режиме стабилизации и тем самым улучшить показатели качества выпускаемой продукции.

#### Список литературы

1. Steel Statistical Yearbook 2017.pdf Режим доступа: <http://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/Steel-Statistical-Yearbook-.html>
2. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Смирнов А.Н. Производство стали. Т. 4. Непрерывная разливка металла. – М.: Теплотехник, 2009. – 528 с.
3. Разработка адаптивного регулятора уровня металла в кристаллизаторе / А.А. Апет, С.И. Лукьянов, Е.С. Суспицын, К.С. Мартынов // Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. науч. трудов. – Вып. 1 / под ред. С.И. Лукьянова, Н.В. Швидченко. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. – С. 3-7.
4. Лякишев Н.П., Шалимов А.Г. Развитие технологии непрерывной разливки стали. – М.: ЭЛИЗ, 2002. – 208 с.: ил.
5. Украинская ассоциация сталеплавильщиков: Автоматическое поддержание уровня металла в кристаллизаторе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://uas.su/books/mnlz/5.1/razdel51.php>

#### Сведения об авторах

**Лукьянов Сергей Иванович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электроники и микроэлектроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [ieiac@magtu.ru](mailto:ieiac@magtu.ru)

**Мартынов Константин Сергеевич** – магистрант, кафедра электроники и микроэлектроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [martynovkos555@yahoo.com](mailto:martynovkos555@yahoo.com)

УДК 621.3

## АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РАБОТЫ ПРИВодОВ ДУТЬЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧАСТОТНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Наумов А.В., Газизова О.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Для повышения экономической и технологической эффективности работы приводов тягодутьевых механизмов котлоагрегатов теплоэлектростанций рассматривается вариант установки устройства автоматической регулировки частоты подводимого тока для изменения скорости вращения двигателя и, как следствие, самого механизма. В данной работе проведено исследование, на основании которого было построено семейство рабочих характеристик, благодаря которым можно оценить экономическую эффективность работы привода с частотным регулятором скорости. А также наглядно видно преимущество работы с устройством регулирования частоты тока, с точки зрения технологического процесса.

**Ключевые слова:** регулирование скорости привода, частотный преобразователь скорости, дросселирование, электростанция, котлоагрегат, тягодутьевые механизмы.

### Введение

Актуальность научно-исследовательской работы обусловлена сравнительно высоким потреблением электрической энергии на собственные нужды на примере теплоэлектростанции. Одними из основных потребителей собственных нужд электростанции являются высоковольтные асинхронные двигатели, вращающие механизмы насосов, мельниц, компрессоров, вентиляторов и дымососов. Для снижения потребления электроэнергии двигателями будет рассмотрена возможность установки частотных преобразователей скорости вращения двигателей на дутьевых вентиляторах котлов. После установки частотных преобразователей ожидается снижение затрат на электроэнергию, потребляемую приводом, благодаря снижению нормальной скорости вращения механизма. Поскольку механизм собственных нужд обладает вентиляторным моментом сопротивления на валу, то при снижении скорости вращения существенно снизится потребляемая из сети активная мощность и, следовательно, потери в питающей сети. Это позволит повысить экономическую и технологическую эффективность работы привода.

### Методики

Дутьевой вентилятор используется для нагнетания воздуха в котел, который нужен для поддержания горения в котле. Дымосос, в свою очередь, необходим для отсоса дыма из котлов. Каждый тягодутьевой механизм приводится в

движение трехкиловольтным асинхронным односкоростным двигателем. Регулирование объема подачи (отсоса) воздуха (дыма) производится за счет изменения уровня открытия задвижки, так называемый метод дросселирования. Упрощенная схема дросселирования приведена на рис. 1. Так называемая дроссельная заслонка регулируется машинистом котла в зависимости от режима работы котла. Двигатель же вращается на максимальной скорости вне зависимости от режима работы котла и уровня открытия дросселя.

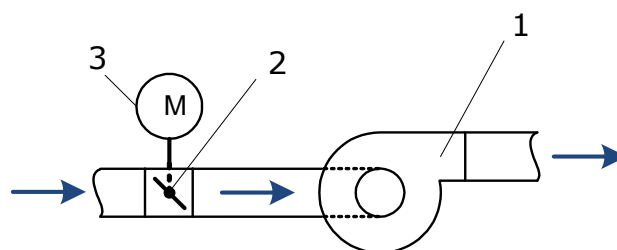


Рис. 1. Схема регулирования производительности дросселированием:

- 1 – тягодутьевой механизм; 2 – шиберная заслонка;
- 3 – электропривод шиберной заслонки

Технические характеристики дутьевых вентиляторов и дымососов приведены в таблице.

Характеристики тягодутьевых механизмов котла

Тип котла	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Напор, мм вод. ст.	Электродвигатель			Тип
			Мощность, кВт	Число оборотов	Сила тока, А	
ВДН-18-П	105000	300	165	980	41	ДАМТ-6127-6

Для создания наглядного обоснования для установки ПЧ необходимо построить зависимость напора, создаваемого механизмов в трубе от производительности сети (трубопровода)  $H=f(Q)$ . Пользуясь информацией, указанной в [1–3], находим, что построение такой характеристики происходит по следующей зависимости:

$$H = H_{ст} + R \cdot Q^2, \quad (1)$$

где  $H$  – напор, создаваемый тягодутьевым механизмом (насосом);

$H_{ст}$  – напор статический, присутствует только у насосов и парных дутьевых механизмов;

$R$  – сопротивление сети (трубопровода);

$Q$  – производительность сети (трубопровода).

Поскольку параметры дымососов и дутьевых вентиляторов приведены для одного двигателя, то характеристика будет построена без учета статического напора. Построим характеристику для дутьевого вентилятора 1А. Зная его номинальный напор и производительность, можно найти сопротивление сети по выражению, приведенному ниже, но сначала переведем значение напора из миллиметров водного столба в паскалы для дальнейшего удобства построения зависимости по формуле. 1 м вод. ст. равен 9806,65 Па, следовательно, 0,3 м вод. ст. будут равны 2942 Па.

$$R = \frac{H}{Q^2} = \frac{2942}{105^2} = 0,27 \frac{\text{Па} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}. \quad (2)$$

Перед построением искомой зависимости необходимо воспользоваться характеристикой вентилятора и по формулам подобия, указанным в [1], нарисовать характеристики с меньшими скоростями. Заводская характеристика вентилятора представлена на рис. 2. Найдя точку пересечения для номинальных значений производительности и напора, аппроксимировали кривую, проходящую через нее, параллельно двум соседним кривым, после чего перенесли ее координаты в Excel для построения характеристик. Номинальная характеристика обозначена на рис. 3 как « $n$  ном», характеристики с пониженными скоростями двигателя обозначены как  $0,9n - 0,4n$ . Используя найденный коэффициент сопротивления сети для номинальных значений скорости двигателя и для полностью открытой заслонкой, построим кривую «Сеть 1». В случае, когда задвижка частично закрыта, коэффициент сопротивления сети увеличивается. Для наглядного представления поведения зависимости примем  $R_2$  равным 0,473. Характеристика с частично закрытым дросселем названа «Сеть 2» и изображена на рис. 3.

## ВДН-18

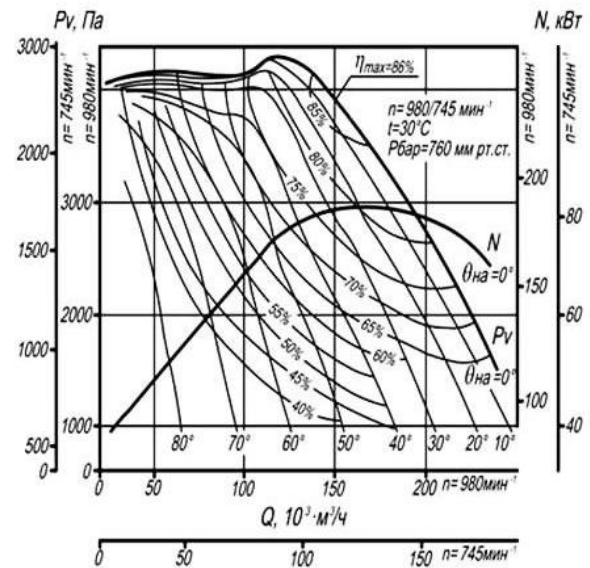


Рис. 2. Семейство характеристик вентилятора ВДН-18

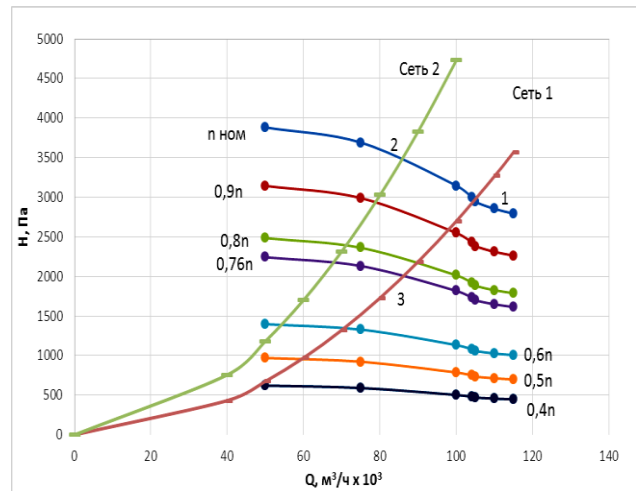


Рис. 3. Скоростные характеристики двигателя и характеристики сети

Рассмотрим 3 режима работы вентилятора. В 1 случае насос работает с максимальной скоростью вращения и заслонкой, открытой на 100%. В таком режиме тягодутьевой механизм будет работать в точке пересечения графиков под номером 1 (см. рис. 3), потребляя при этом номинальную мощность из сети. Во 2 случае, механизм будет работать с номинальной мощностью, но с частично закрытой заслонкой, чтобы снизить производительность до необходимого уровня. Из-за изменения положения задвижки характеристика сети окажется в положении «Сеть 2», а вентилятор в таком случае будет работать в точке 2, испытывая избыточный напор. В третьем случае для снижения производительности будет изменена скорость вращения двигателя, а задвижка останется полностью открытой. Характеристика сети будет неиз-

менной, но вот характеристика вентилятора изменится на «0,76л» (см. рис. 3). Таким образом, дутьевой вентилятор будет работать в точке пересечения старой характеристики сети и новой кривой скорости в точке 3, не испытывая при этом дополнительного напора. В точках 2 и 3 производительность одинаковая.

Рассчитаем значения механических мощностей, потребляемых в этих двух точках по нижеприведенной формуле (производительность в точке 2 и 3 равна  $86 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). КПД в точке 2 определится по рис. 2 и равен  $\sim 65\%$ . В точке 3 КПД равен  $\sim 76\%$ . Для удобства расчета переведем значения напора и производительности в другие величины. Так,  $H=3500 \text{ Па}=0,36 \text{ м вод. ст.}$ ,  $H=2000 \text{ Па}=0,2 \text{ м вод. ст.}$ , а  $Q=86 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}=23,9 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$P_{\text{мех}2} = \frac{\gamma \cdot Q_2 \cdot H_2}{102 \cdot \eta_2} = \frac{1000 \cdot 23,9 \cdot 0,36}{102 \cdot 0,65} = 130 \text{ кВт}; \quad (3)$$

$$P_2 = \frac{P_{\text{мех}2}}{\eta_2} = \frac{130}{0,88} = 147,7 \text{ кВт}; \quad (4)$$

$$P_{\text{мех}3} = \frac{1000 \cdot 23,9 \cdot 0,2}{102 \cdot 0,76} = 61,6 \text{ кВт};$$

$$P_3 = \frac{P_{\text{мех}3}}{\eta_2} = \frac{61,6}{0,88} = 70 \text{ кВт}.$$

Таким образом, мы можем убедиться в наглядной выгоде установки частотных регуляторов скорости на тягодутьевые механизмы котлов ТЭЦ. При работе на номинальной скорости с частично закрытым дросселем двигатель потребляет из сети большой ток, за счет чего он потребляет большую мощность постоянно. Но если мы откроем заслонку и снизим скорость двигателя, то его потребляемая мощность заметно снизится, снизив затраты на электроэнергию в целом. Зная примерную себестоимость 1 кВт/ч (примерно 1

руб.), можно подсчитать приблизительную годовую выгоду с одного двигателя:

$$C_2 = 8760 \cdot 1 \cdot 147,7 = 1.293.852 \text{ руб.};$$

$$C_3 = 8760 \cdot 1 \cdot 70 = 613.200 \text{ руб.}$$

### Заключение

Из проделанного исследования, произведя примерный подсчет затрат на электроэнергию (котлы в течение года работают в различных режимах, и скорость вращения привода будет различна), можно сделать вывод, что установка устройства автоматического регулирования скорости путем изменения частоты питающего тока позволит сэкономить стоимость затрат на электроэнергию. К тому же, при снижении скорости вращения двигатель уменьшается не только энергопотребление. Необходимо отметить тот факт, что при использовании преобразователя частоты на двигатель оказывается меньшее давление со стороны вентилятора, что в свою очередь правильной, с точки зрения технологии, поскольку это снижает износ оборудования и повышает его жизненный цикл. Это наглядно продемонстрировано на построенных характеристиках (см. рис. 3). В точке 3 значения напора гораздо ниже, чем в точке 2, в которой, кстати, превышает номинальное значение, и на механизм оказывается избыточное давление.

### Список литературы

1. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. – М.: Энергоиздат, 1972. – 240 с.
2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 358 с.
3. Шерстюк А.Н. Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М.: Высш. шк., 1972.

### Сведения об авторах

**Наумов Алексей Васильевич** – бакалавр, студент кафедры электроснабжения промышленных предприятий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: linkin.mgn@gmail.com

**Газизова Ольга Викторовна** – канд. техн. наук, доцент, кафедра электроснабжения промышленных предприятий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 662.994:658.18

## АНАЛИЗ СВЯЗИ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ХАРАКТЕРОМ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Агапитов Е.Б., Соколова М.С., Агапитов А.Е.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В статье проведен краткий анализ стратегии развития предприятий черной металлургии в современных условиях. Рассмотрены принципы повышения эффективности использования вторичных энергетических ресурсов, образующихся в процессе реализации основного технологического процесса. Представлены классификации ВЭР по различным характеристикам: по виду содержащегося в них энергетического потенциала; по температуре, с которой тепловые ВЭР покидают технологические агрегаты.

**Ключевые слова:** вторичные энергетические ресурсы (ВЭР), энергоэффективность, энергосбережение, доменный газ, коксовый газ, конвертерный газ, горючие ВЭР, энергетический потенциал ВЭР.

Международным институтом чугуна и стали было проведено исследование, какие требования к металлургическому производству должны быть предъявлены в XXI веке. Выявлены два главных требования, которые должны быть удовлетворены:

- Требования рынка к производителям металла о поставках стали высокого качества, при низкой стоимости, малыми партиями и в короткое время.
- Требования к металлургическому производству о соответствии предписаниям по защите окружающей среды, таким как сведение к минимуму всевозможных газо- и жидкофазных выделений, рециркуляция ресурсов, эффективное использование энергии, сопутствующих продуктов и отходов производства.

Для того чтобы удовлетворить эти требования, в черной металлургии прилагаются различные усилия, в том числе:

- Для уменьшения затрат – увеличение производительности существующих доменных печей, сталеплавильных агрегатов и прокатных станов; развитие новых процессов, предусматривающих снижение капитальных вложений; сокращение стадий производства.
- Для улучшения качества – устранение остаточных элементов (медь, олово, хром); управление качеством поверхности и внутренней структуры непрерывнолитых заготовок, близких по форме к конечному сечению; сотрудничество с потребителями для оптимизации конструирования металлопродукции.
- Для защиты окружающей среды – уменьшение выделений из коксовых печей и в агломе-

рационном производстве; уменьшение выделений диоксида углерода; возврат в производство различных его отходов и испаряющихся сопутствующих продуктов.

Эти стратегии приводят к изменению структуры энергохозяйства утилизации ВЭР. При этом на вновь строящихся предприятиях задачи утилизации ВЭР решаются комплексно уже на стадии проектирования, а на реконструируемых предприятиях их реализуют в условиях действующих производств.

Для промышленных предприятий обостряется проблема сокращения покупки энергоресурсов и снижения энергоемкости металлопродукции, что обуславливает снижение себестоимости продукции, повышение ее рентабельности для обеспечения устойчивого развития. Одним из резервов в этом направлении является повышение эффективности использования вторичных энергоресурсов, образующихся в процессе реализации основного технологического процесса.

Утилизация ВЭР при этом обеспечивает разноплановый эффект:

- экономический – от снижения покупки топлива и уменьшения штрафов по экологическим статьям;
- экологический – от снижения выбросов ядовитых и парниковых газов.

По виду содержащегося в них энергетического потенциала ВЭР металлургических производств подразделяются на три основных группы: горючие, тепловые и избыточного давления [1, 2].

Горючие ВЭР – это отходы одного производства, которые могут быть утилизированы непосредственно в виде топлива в других производствах. К ним относятся, например,



технологические газы черной металлургии, жидкие и твердые топливные отходы образующиеся, например, в коксохимических производствах на металлургических заводах полного цикла.

Тепловые ВЭР – это физическая теплота отходящих газов, в том числе горючих, основной и побочной (нецелевой) продукции производства (нагретых металла, шлаков и зол, горячей воды и пара от технологических установок, систем охлаждения и пр.). Тепловая энергия отходов, выходящая из технологического агрегата и используемая для подогрева вещественных потоков, поступающих в этот же агрегат (процессы регенерации и рекуперации), к вторичным энергоресурсам не относятся.

ВЭР избыточного давления – это потенциальная энергия покидающих установку газов, воды, пара, имеющих повышенное давление, которое может использоваться для технических задач перед выбросом в окружающую среду. Основное направление утилизации таких ВЭР – получение электрической или механической энергии.

Фактически к вторичным ресурсам относятся энергоносители, которые по различным причинам не используются в источнике их формирования. С определенной «натяжкой» сюда могут быть отнесены энергоносители, которые из-за небаланса между объемами производства и потребления приходится использовать в неординарных направлениях. На металлургических предприятиях это может быть кислород и азот различной чистоты.

ВЭР избыточного давления жидких и газообразных отходов образуются в ряде технологий металлургического производства, однако их применение пока не носит массового характера. Избыточное давление доменного газа используют на ряде металлургических предприятий в газовых компрессорных турбинах.

По температуре, с которой тепловые ВЭР покидают технологические агрегаты, их делят на высоко-, средне- и низкопотенциальные.

К высокопотенциальным относятся ВЭР, температура которых превышает наименьшую температуру газов в автогенном процессе сжигания топлива (не менее 600 °С), а к низкопотенциальным принадлежат ВЭР, представляющие собой жидкости с температурой менее 100 °С и газы с температурой ниже 300 °С [3].

В целом основными источниками тепловых ВЭР выступают технологические агрегаты, как правило, недостаточно совершенные с энергетической стороны. Особенно неблагоприятны, с точки зрения использования теплоты сгорания топлива, нагревательные и термические печи (их тепловой КПД равен 12-18 %), вагранки чугуно-

литейных цехов (теплопотери с газами превышают 50-60 %), паровые котлы низкого давления (КПД порядка 50 %), паровые молоты кузнечных цехов (КПД не более 2-5 %) и др.

Разработка методов и способов утилизации ВЭР промышленных предприятий в России началась в 20-30-е гг. прошлого столетия. Тогда были заложены теоретические основы энергосбережения и предложены первые технические решения. В 60-70-х гг. XX века за счет использования ВЭР в стране ежегодно экономилось около 20 млн т условного топлива. Особенностью построения экономической модели хозяйствования в тот период являлась низкая стоимость энергоресурсов и слабая экономическая мотивация в утилизации ВЭР. Эта тенденция была связана со снижением в 1960-х гг. стоимости первичных энергоресурсов за счет массового вовлечения в топливный баланс страны нефти и природного газа.

Современная черная металлургия в России занимает первое место по вовлечению вторичных энергетических ресурсов. Их суммарный выход в пересчете на условное топливо равен 30-50 млн т/год при максимально возможном показателе утилизации около 20 млн т. На долю черной металлургии приходится около 40 % тепловых и до 80 % горючих ВЭР, применяемых в промышленности.

К горючим ВЭР черной металлургии относятся доменный, конвертерный и коксовый газы. Они же являются высокопотенциальными тепловыми выбросами с температурой от 300 до 1600 °С. Доменный газ обладает также избыточным давлением. Из металлургических печей выносятся 30-50% тепла, охлаждающими элементами воспринимается 8-20 % и до 5 % рассеивается в окружающую среду.

За счет сжигания доменного (колошникового) газа в газовом балансе металлургических предприятий покрывается 35-45 % потребности в теплоте.

Средние характеристики доменного газа существенно разнятся: температура 175-250 °С, выход 1100-2200 м<sup>3</sup>/т чугуна; состав: 23-40 % CO, 12-22 % CO<sub>2</sub>, 1,5-6,0 % H<sub>2</sub>, остальное – N<sub>2</sub>; теплота сгорания около 4 МДж/м<sup>3</sup>.

Очищенный от пыли доменный газ применяется главным образом в доменных воздухонагревателях, энергетических котлах, для отопления коксовых батарей, нагревательных колодцев и печей прокатного производства. В данных случаях реализуется его горючий потенциал. Тепловой потенциал практически не используется [4-6].

К ВЭР доменного производства относится также теплота отходящих газов воздухонагревателей, составляющая 15-20 % от ее расхода на подо-

грев доменного дутья. Их температура колеблется в пределах 150-600 °С. Эти газы могут быть использованы для выработки пара, горячей воды или для подогрева доменного газа перед входом в газовую турбину.

Вторым (после доменного) по значению источником оксида углерода на предприятиях черной металлургии является конвертерный газ. Его усредненный состав при плавке с верхней и нижней продувкой: 67-79 % CO, 13-16 % CO<sub>2</sub>, по 0-3 % H<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, 5-14 % N<sub>2</sub>. Теплота сгорания газа составляет 8,4-9,2 МДж/м<sup>3</sup> при его температуре на выходе из конвертера 1400-1600 °С.

На крупном предприятии с производительностью порядка 7 млн т/год конвертерной стали выход газа составляет около 570 млн т/год, или 130 млн м<sup>3</sup> в пересчете на природный газ (при теплотворной способности природного газа на уровне 40 МДж/м<sup>3</sup>). Таким образом, при выплавке 1 т стали с конвертерными газами выносятся энергетический потенциал, равный 17-20 м<sup>3</sup> природного газа [7].

На эффективность использования ВЭР конвертеров существенное влияние оказывает способ отвода газов от них. В настоящее время применяются три варианта:

- С полным дожиганием CO перед котлом-утилизатором, т.е. с утилизацией физического тепла конвертерных газов и их энергетического потенциала. В этом случае в атмосферу сбрасывается обеспыленный охлажденный газ, содержащий CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и пары воды.

- С частичным дожиганием CO перед котлом-утилизатором (при коэффициенте  $\alpha$  расхода воздуха, равном 0,3-0,6) и полным его сжиганием на «свече» при сбросе газов в атмосферу. В данном варианте используется их физическое тепло и, частично, энергетический потенциал.

- Без дожигания CO перед котлом-утилизатором и его сжиганием на «свече» при сбросе газов в атмосферу (отечественная практика) или применением в качестве топлива (иностраный опыт). В первом случае утилизируется лишь их физическое тепло (при  $\alpha = 0$ ).

В любом из рассмотренных вариантов очистка газов производится после их использования в котле-утилизаторе.

В целом энергетический потенциал конвертерного газа в настоящее время используется лишь частично и только в самом конвертерном производстве. В качестве причин, сдерживающих полную утилизацию этого газа, обычно указывают нестабильность его выхода, изменяющийся по ходу плавки состав, взрывоопасность при содержании в нем 12,5-75 % CO.

Коксовый газ – третий крупный источник горючих ВЭР черной металлургии. Из 1 т сухой шихты, помимо 750-800 кг кокса, получают 320-330 м<sup>3</sup> коксового газа, а также 33 кг каменноугольной смолы, 80 кг подсмольной воды, 11 кг сырого бензола, 3 кг аммиака, которые перерабатывают в химические продукты. Из искусственных газообразных топлив (доменного, смешанного, конвертерного, генераторного) коксовый газ обладает наибольшей теплотой сгорания (свыше 17 МДж/м<sup>3</sup>).

Потенциал коксового газа как теплового ВЭР определяется тем обстоятельством, что он покидает печь с температурой 700-800 °С, и его тепло-содержание составляет около 1000 МДж/т кокса, или до 30 % расхода тепла.

Физическую теплоту коксового газа отбирают на разных стадиях охлаждения: в стояках коксовых камер газ остывает с 700-800 до 400 °С; в газосборниках – от 400 до 82 °С; в первичных холодильниках – от 82 до 30 °С. Используется теплота первой и третьей стадий.

В настоящее время коксовый газ как горючий ВЭР используется для отопления коксовых батарей, агрегатов термообработки металла и в энергетических целях.

К особым видам ВЭР следует отнести избытки кислорода, периодически производимые на металлургических предприятиях. Вообще, кислород относится к дефицитным продуктам, нехватку которого обозначают практически все металлургические предприятия. Специфика производства кислорода заключается в невозможности оперативного изменения производительности воздуходелительных установок и накопления его в специальных емкостях [7]. Несбалансированность объемов производства кислорода и его потребления периодически приводит к ситуациям, когда краткосрочно потребности в кислороде нет, накопить его негде, снизить объем производства невозможно и в этом случае – экономически оправданным является сброс кислорода в окружающую среду. В этой связи нереализованный кислород можно рассматривать как вторичный энергетический ресурс.

Эффективность черной металлургии зависит от ее способности воспринимать технические решения, позволяющие и в дальнейшем уменьшать производственные затраты, соответствовать глобальной экологической концепции и удовлетворять требованиям потребителей на конкурирующем рынке.

В целом следует заметить, что использование ВЭР во многих случаях экономически эффективно, поскольку удельные капитальные вложения в установку по утилизации тепловых ВЭР, отнесенные к 1 т сэкономленного топлива, ниже, чем цена

топлива с учетом его транспортировки. Для наиболее полного выявления и эффективного использования ВЭР на каждом действующем предприятии при разработке паспорта предприятия обеспечивается учет всех образующихся ВЭР, возможных направлений использования и способов их утилизации. Все включаемые в план мероприятия по повышению уровня использования ВЭР должны быть экономически обоснованы.

Экономия топлива зависит от направления использования ВЭР и схем топливо- и энергоснабжения предприятия [8]. При тепловом направлении использования ВЭР экономия топлива определяется путем сопоставления количества тепла, полученного от использования ВЭР, с технико-экономическими показателями выработки того же количества и тех же параметров тепла в основных энергетических установках. При силовом направлении использования ВЭР выработка электроэнергии (или механической энергии) сопоставляется с затратами топлива на выработку электроэнергии (или механической энергии) в основных энергоустановках.

#### Список литературы

1. Техничко-экономические подходы к оценке эффективности использования доменного газа на металлургическом предприятии / Агапитов Е.Б., Картавцев С.В., Михайловский В.Н., Каблукова М.С., Миков В.Ю. // Промышленная энергетика. – 2016. – № 3. – С. 15-22.
2. Повышение эффективности ПВЭС металлургического предприятия в решении многоцелевых задач / Агапитов Е.Б., Михайловский В.Н., Даутов Р.Н., Каблукова М.С., Агапитов А.Е. // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 3 (32). – С. 48-53.
3. Математическое программное обеспечение системы оценки эффективности модульного модуля для электростанций на металлургическом предприятии / Агапитов Е.Б., Михайловский В.Н., Агапитов А.Е., Каблукова М.С. // Электротехнические системы и комплексы. – 2015. – № 4 (29). – С. 25-30.
4. Agapitov E.B., Mikhaylovskiy V.N., Nikolaev A.A., Kablukova M.S., Agapitov A.E. The study of the influence of the volume use of the secondary energy resources for electricity generation at TBS power plant of metallurgical enterprise. IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – 2017. – P. 1467-1470.
5. Повышение эффективности использования доменного газа на металлургических предприятиях России / Рыжков А.Ф., Левин Э.И., Филиппов П.С., Абаимов Н.А., Гордеев С.И. // Металлург. – 2016. – № 1. – С. 26-34.
6. Мунц В.А. Энергосбережение в энергетике и тепловых технологиях. – Екатеринбург: Урал. гос. техн. ун-т, 2006. – 136 с.
7. Сушон С.П., Завалко А.Г., Минц М.И. Вторичные энергетические ресурсы промышленности СССР. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.
8. Лотош В.Е. Фундаментальные основы природопользования. Переработка отходов природопользования. – Екатеринбург: Полиграфист, 2007. – Кн. 3. – 503 с.

#### Сведения об авторах

**Агапитов Евгений Борисович** – д-р техн. наук, доцент, профессор, заведующий кафедрой теплотехнических и энергетических систем, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: jek\_agapitov@mail.ru.

**Соколова Маргарита Сергеевна** – ассистент кафедры теплотехнических и энергетических систем, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: margo88k2017@mail.ru.

**Агапитов Артем Евгеньевич** – магистрант кафедры теплотехнических и энергетических систем, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: artagapitov@gmail.com.

УДК 621.365.22

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДАМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ\*

Николаев А.А., Тулупов П.Г.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В рамках данной статьи описывается структура программно-аппаратного комплекса (ПАК), который предназначен для анализа режимов работы систем управления гидроприводами перемещения электродов электродуговых сталеплавильных печей (ДСП) с целью выявления энергетических резервов электротехнологической установки. Основным преимуществом данного ПАК является использование в своём составе математической модели электрического контура ДСП с системой управления гидравлическим приводом перемещения электродов. Данная модель позволяет с высокой степенью адекватности на основании анализа реальных осциллограмм определять качество текущей настройки системы управления гидроприводом перемещения электродов, а также формировать новые, более оптимальные, параметры настройки, использование которых позволит повысить технико-экономические показатели качества работы сталеплавильного комплекса.

**Ключевые слова:** дуговая сталеплавильная печь, программно-аппаратный комплекс, система управления гидроприводом перемещения электродов, электрическая дуга, математическая модель электрического контура дуговой сталеплавильной печи.

### Введение

В настоящее время электрометаллургия является быстроразвивающейся отраслью современной промышленности. Более 50% общемирового объёма производства жидкой стали приходится на мощные и сверхмощные дуговые сталеплавильные печи с удельной мощностью печного трансформатора в диапазоне от 0,75 до 1 МВА/т при потребляемой активной мощности 120-150 МВт. Очевидно, что ДСП является достаточно сложным электротехнологическим комплексом и характеризуется значительным энергопотреблением, что делает особо актуальной задачу выявления энергетических резервов подобного рода установок.

На текущий момент решение данной задачи требует значительных затрат времени ввиду отсутствия современных программно-аппаратных комплексов, которые позволяют проводить диагностику состояния печного оборудования в режиме реального времени, а также оперативно формировать рекомендации по устранению тех или иных недостатков, связанных с неоптимальным выбором несимметричной работы печи, некорректной настройкой регулятора, неверно сформированной матрицы уставок в составе про-

филя плавки и т.д. Таким образом, в рамках данного исследования рассматривается процесс разработки и внедрения программно-аппаратного комплекса для анализа режимов работы системы управления гидроприводами перемещения электродов электродуговых сталеплавильных печей.

### Описание структуры и основного функционала ПАК

Основным компонентом разрабатываемого ПАК является измерительный комплекс, необходимый для получения осциллограмм сигнала тока электрической дуги и фазного напряжения, который включает в себя регистратор электрических сигналов РЭС-3 (или аналогичный), блок гальванической развязки, токоизмерительные шунты, а также токоизмерительные клещи на датчиках Холла. Прототип измерительного комплекса, который использовался для проведения исследований специалистами ФГБОУ ВО «МГТУ им. Носова» на базе предприятий «АМЕТ» (г. Аша, Россия), представлен на рис. 1.

Помимо измерительного комплекса, в состав ПАК входит ноутбук промышленного исполнения с предустановленной платформой Matlab Simulink, на базе которой реализована математическая модель электрического контура ДСП с системой управления гидроприводом перемещения электродов. В основе данной модели лежат программные алгоритмы [1, 2], позволяющие с высокой степенью достоверности проводить имитаци-

© Николаев А.А., Тулупов П.Г., 2018

\*Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-3230.2018.8).

онное моделирование для наиболее распространённых современных систем управления гидравлическим приводом перемещения электродов [3], таких как ARCOS (Primetals Technologies, Великобритания) и Hireg plus (Danieli, Италия).

Основной функционал ПАК рассмотрим на примере системы управления гидроприводом перемещения электродов Hireg+ (Danieli, Италия), функциональная схема которой представлена на рис. 2.

Приведём наиболее распространённые проблемы, которые возникают при эксплуатации данной системы, а также рассмотрим пути их решения, которые потенциально становятся доступны благодаря применению ПАК.

1. Некорректная настройка параметров ПИ-регулятора, а также некорректный выбор величины постоянной времени фильтра ошибки  $T_{\Phi}$ , вследствие чего переходные процессы по управляемому и возмущающему воздействию проте-

кают замедленно. Данная проблема приводит к увеличению дисперсии тока электрической дуги и, как следствие, к увеличению удельного расхода электроэнергии. Применение программно-аппаратного комплекса позволяет адаптивным методом с помощью математической модели определить наиболее оптимальное сочетание параметров ПИ-регулятора и фильтра ошибки. Высокая адекватность полученных результатов достигается за счёт применения специального блока формирования возмущающих воздействий (рис. 3) в виде мгновенного изменения длины электрической дуги, который описан в статье [3]. Отметим, что формирование возмущающих воздействий производится с помощью реальных осциллограмм сигнала мгновенных значений тока электрической дуги, которые в свою очередь получают с помощью измерительного комплекса.



Рис. 1. Измерительный комплекс на базе предприятия АМЕТ (г. Аша, Россия)

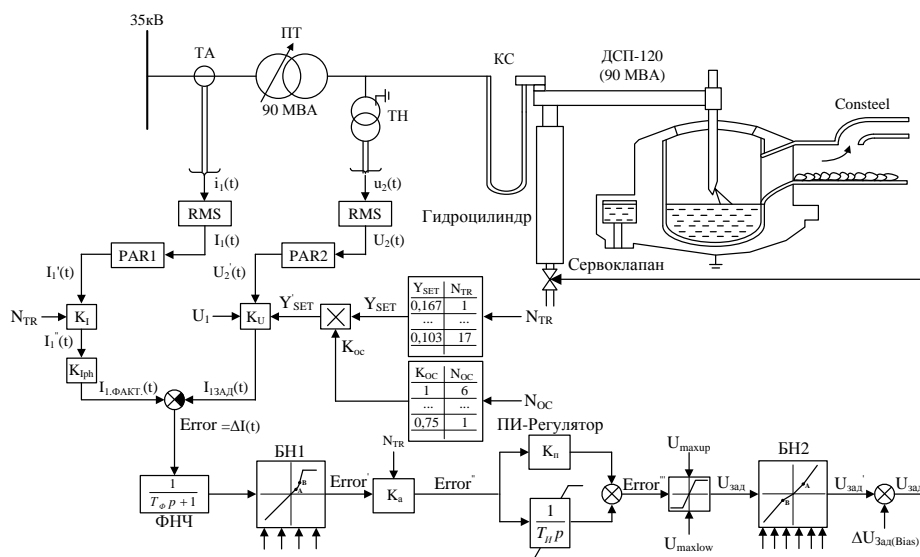


Рис. 2. Функциональная схема системы управления гидроприводом перемещения электродов Hireg+ (Danieli, Италия)

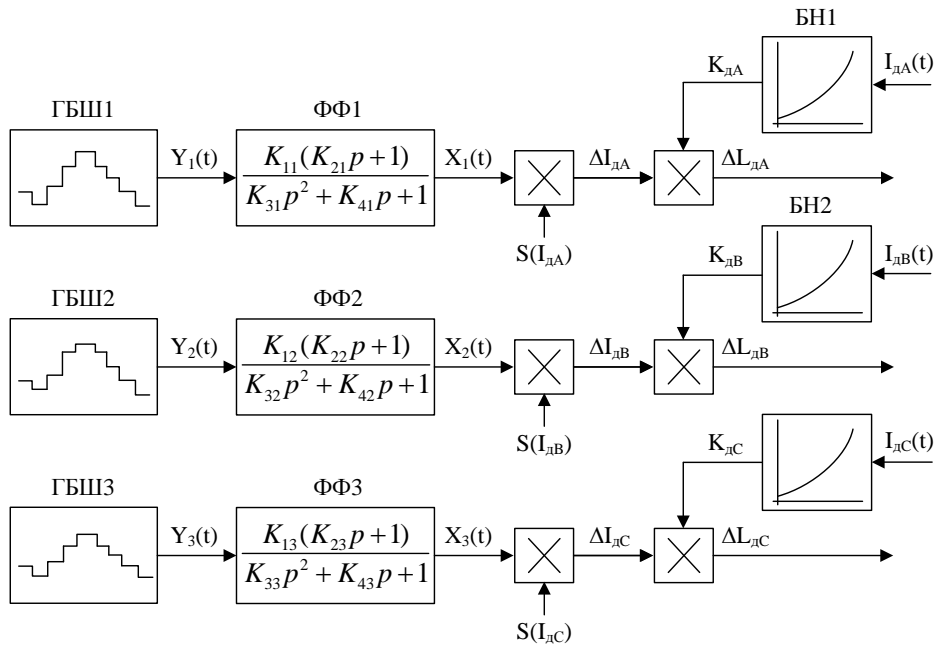
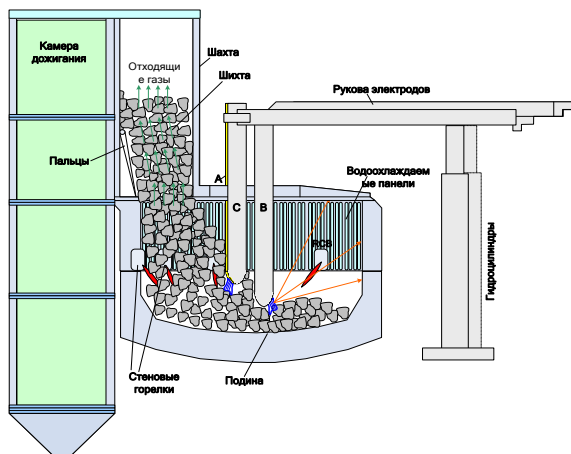


Рис. 3. Структурная схема блока формирования случайных возмущений по длине электрической дуги

2. Некорректный выбор балансировочных коэффициентов  $K_{ipn}$ , вследствие чего происходит перегрев водоохлаждаемых панелей напротив электрода фазы «В», а также повышается износ огнеупорной футеровки (рис. 4) и, как следствие, сокращается межремонтный цикл, приводя к более частым простоям печи (характерно для печей с технологией непрерывной подвалки шихты конвейером Consteel, а также печей шахтного типа). Специальная методика, разработанная в рамках исследования [4], позволяет провести оценку всех возможных сочетаний  $K_{ipn}$  для каждой из трёх фаз в определённом диапазоне с целью выбора той, которая в наибольшей мере соответствует изначально сформированной системе ограничений.

3. Неверно сформирована матрица уставок [5] адмитанса в профиле плавки, вследствие чего рабочая точка находится на нисходящем участке зависимости  $P_d=f(I_d)$ , что приводит к работе печи с повышенными энергетическими потерями. Применение программно-аппаратного комплекса позволяет визуализировать реальное распределение рабочих точек (рис. 5), которое получается с помощью измерительного комплекса, на характеристике  $P_d=f(I_d)$ , по результатам математического моделирования, вследствие чего появляется возможность отслеживать результаты от корректировки матрицы уставок в режиме реального времени.



а

б

Рис. 4. Неравномерное распределение шихты после завалки с пальцев в рабочем объеме ШП (а) и ускоренный износ огнеупорной футеровки стен ШП (б)

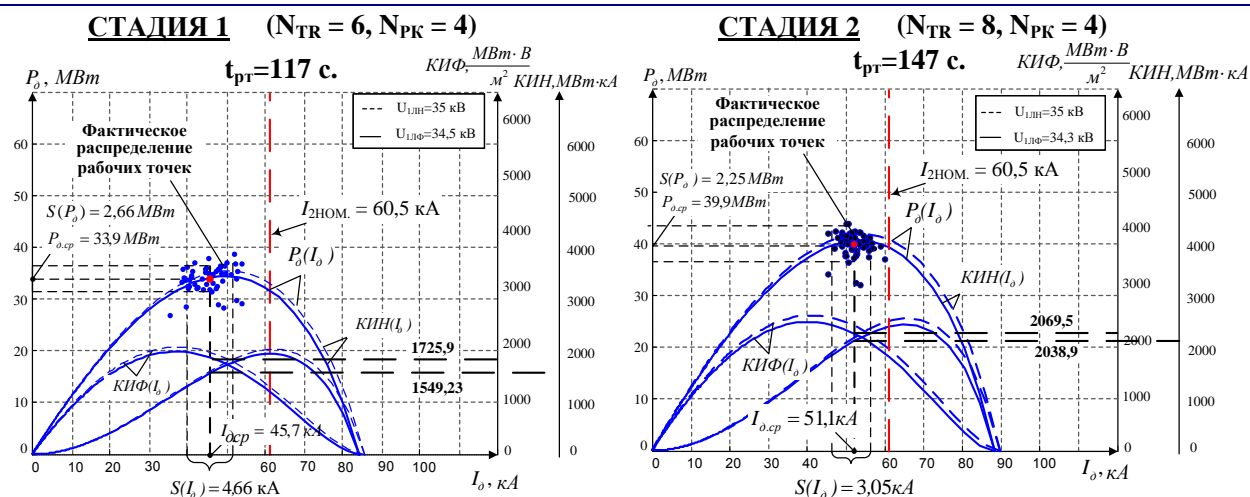


Рис. 5. Визуализация электрических и технологических характеристик ДСП с нанесением реального массива рабочих точек на различных стадиях плавления шихты

### Заключение

Разработка программно-аппаратного комплекса для анализа режимов работы систем управления гидроприводами перемещения электродов электродуговых сталеплавильных печей в условиях современной электрометаллургической промышленности является актуальной, поскольку в настоящий момент на рынке отсутствуют программно-аппаратные комплексы, позволяющие на основании анализа экспериментальных параметров формировать рекомендации по коррекции параметров системы управления гидравлическим приводом перемещения электродов.

Опыт практических исследований, проведённых на базе ведущих металлургических предприятий России и зарубежных стран, доказывает эффективность методик, описанных в рамках данной работы. Алгоритмы, лежащие в основе функционирования ПАК, позволяют с высокой степенью эффективности определять наиболее оптимальные параметры системы управления гидроприводом перемещения электродов, такие как коэффициенты усиления пропорционально-интегрального регулятора, постоянная времени фильтра ошибки, балансирующие коэффициенты. Кроме того, визуализация распределения рабочих точек на электрической характеристике печи позволяет производить гибкую и интуитивно понятную коррекцию существующего профиля плавки.

Благодаря рекомендациям, которые формируются в процессе работы ПАК, удаётся в значительной мере повысить энергоэффективность сталеплавильного комплекса за счёт снижения удельного расхода электроэнергии, времени работы под током, сокращения расхода электродов и межремотного цикла. При этом одним из важных

достоинств применения ПАК является значительное сокращение временного интервала между проведением замеров, формированием и внедрением рекомендаций. Ручная обработка экспериментальных данных может проводится в течение нескольких месяцев, на протяжении которых печь работает при неоптимальной настройке, что влечёт за собой существенные затраты.

### Список литературы

1. А.с. на программу для ЭВМ «Математическая модель системы управления положением электродов дуговой сталеплавильной печи» / Николаев А.А., Тулупов П.Г., Повелица Е.В., Ануфриев А.В. №2016610030. 2016.
2. А.с. на программу для ЭВМ «Математическая электрического контура электродуговой сталеплавильной печи» / Николаев А.А., Тулупов П.Г. №2016610030. 2016.
3. A. A. Nikolaev; P. G. Tulupov; G. V. Astashova The comparative analysis of electrode control systems of electric arc furnaces and ladle furnaces, 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2016, pp. 1-7. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7910888
4. Nikolaev A.A., Tulupov P.G. Method of setting optimum asymmetric mode of operation of electric arc furnace, 2016 11<sup>th</sup> France-Japan & 9<sup>th</sup> Europe-Asia Congress on Mechatronics(MECATRONICS)/17<sup>th</sup> International Conference on Research and Education in Mechatronics(REM),pp. 033-037. DOI:10.1109/MECATRONICS.2016.7547111
5. Nikolaev A.A., Tulupov P.G., Anufriev A.V. “ Assessing the Feasibility of Electrical Mode Control of Ultra-High Power Arc Steelmaking Furnace Based on Data about Harmonic Composition of Arc Currents and Voltages”, Proceedings of 16th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM2015). IEEE. Bochum, Germany, November 18-20, 2015. pp. 302-308. DOI: 10.1109/REM.2015.73804112

**Сведения об авторах**

**Николаев Александр Аркадьевич** – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: alexniko@inbox.ru.

**Тулупов Платон Гариевич** – аспирант кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: tulupov.pg@mail.ru.

---



УДК 004.91

## СЕРВИСНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ИТ-УСЛУГАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОМПАНИИ

Махмутова М.В., Белоусова И.Д.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В статье рассматривается одно из возможных решений проблем обеспечения качества предоставления ИТ-услуг инженерно-коммерческому подразделению производственной компании посредством создания системы поддержки пользователей сервисов ИТ. Обоснованы критерии выбора, а именно зависимость от потребностей подразделения, а также от соответствия продукта разработанным правилам функционирования системы поддержки и уровню подготовленности персонала, на основе совокупности процессов ITSM, описанных в ядре библиотеки инфраструктуры информационных технологий ИТIL.

**Ключевые слова:** система поддержки пользователей, обеспечение качества, ИТ-услуга, организационное обеспечение, уровень сервиса.

Анализ деятельности различных, в том числе коммерческих, производственных компаний позволяет заметить одну очень важную деталь. Прибыльным, устойчивым, динамично развивающимся предприятиям сопутствуют многочисленные модернизационные процессы. Огромная технологическая мощь производственной компании требует улучшений в скорости документооборота, сиюминутной доступности информации о проводимых технологических процессах, возможности моментально повлиять на ситуацию в критическую минуту. Зачастую имеет место ситуация, что на предприятии проведена общая модернизация, внедрены информационные продукты зарубежных компаний, общий уровень информатизации позволяет проходить международные аудиты и соответствовать различным сертификатам. Но достижение максимальной производительности, максимальной прибыли и максимальной отдачи можно получить только в том случае, если будут исправлены недостатки непосредственно на рабочих местах. Улучшения должны быть произведены с учетом пожеланий конкретных людей. Людей, которые задействованы в цепочке производственного цикла. Вышесказанное поясняет актуальность предлагаемого исследования.

В свете современных тенденций развития бизнеса необходимо сформировать взгляд на производственную компанию, способный совместить технические и экономико-управленческие аспекты. В связи с этим одним из важнейших вопросов является «сервисная экономика» и формирование на ее основе обобщенной сервисной логики, посред-

ством которой компания может осуществлять деятельность как внутри своих подразделений, так и во взаимодействии с другими компаниями [1].

Рассмотрим определение понятия «сервиса». Сервис или услуга - это способ предоставления ценности заказчику посредством содействия им в получении требуемых результатов без овладения специфическими расходами и рисками (ИТIL v3) [2].

Таким образом, рассматривая автоматизированную информационную систему (АИС) управления производственной компании, основными компонентами которой являются информационные технологии, персонал, процессы, их организация, с позиций предоставления определенных сервисов, таких как, качество обслуживания, ценность, можно определить ее как сервисную систему. Следовательно, если ИТ-деятельность, такую как закупка или производство программного обеспечения, внедрение АИС, оценивать с позиций сервисного подхода, то коренным образом меняется традиционное представление об ИТ-подразделении компании. Теперь результатами его деятельности являются конечные ИТ-сервисы, предоставляемые бизнесу [2].

Деятельность компании можно представить в виде набора сервисов, предоставляемых либо одним подразделением другому, либо компанией клиентам. Подобный регламент прописывается в Соглашении об уровне обслуживания, иначе SLA (Service Level Agreement). В рамках соглашения приводится описание предоставляемой услуги, требования к ее доступности, порядок действий исполнителя при различных условиях предоставления ИТ-сервиса, критерии удовлетворительного предоставления услуг и порядок их оплаты [3].

Возросшую популярность сервисного подхода можно достаточно просто объяснить. Бизнес всегда стремится сконцентрироваться на стратегических для себя направлениях и не заниматься параллельно второстепенной с его точки зрения деятельностью, а именно самостоятельным развитием ИТ-услуг.

В соответствии с жизненным циклом информационных систем (ИС), который включает в себя проектирование, внедрение, эксплуатацию и развитие, единственный период, когда система приносит реальную пользу компании, - это период ее производственной эксплуатации. За весьма редкими исключениями, эксплуатация ИС предполагает ее использование сотрудниками различных подразделений компании [6]. Эти пользователи не являются специалистами по информационным технологиям, но они хотят получать качественные ИТ-услуги. Именно по результатам работы конечных пользователей судят об эффективном использовании возможностей ИС и качестве предоставления информационных сервисов подразделениям компании. По сути, конечные пользователи являются заказчиками и потребителями информационно-технологических услуг (сервисов ИТ). Необходимо знать, как должны строиться отношения между, например, инженерно-коммерческим подразделением производственной компании и бюро АСУ и как организовать службу поддержки пользователей.

В рамках нашего исследования отношения между пользователями и бюро АСУ рассматриваются как типичные рыночные отношения. То есть имеются некоторая услуга, поставщик и покупатель соответствующей услуги. Поставщик и покупатель заключают некоторое соглашение об уровне сервиса, определяющее условия предоставления услуги, ее качество и т. д. Конечно, такой подход не столь очевиден в обычной ситуации, когда бюро АСУ является структурным подразделением производственной компании. Но мировая практика показывает, что организация взаимодействия на основе таких принципов дает возможность достижения полного контроля над ИТ-инфраструктурой компании и существенное сокращение расходов на ее обслуживание. Предметом договоренности в предлагаемой модели выступает некоторая услуга, предоставляемая сотрудникам инженерно-коммерческого подразделения производственной компании, называемая сервисом ИТ.

В рамках предлагаемой нами модели отношений «поставщик сервиса - потребитель сервиса» достижение успеха находится в существенной зависимости от действий обеих сторон. Это обуславливается высокой сложностью современных ИС, в том числе клиентского оборудования и про-

граммного обеспечения, той части сервиса ИТ, которая размещена непосредственно у пользователя.

Основными принципами организации системы поддержки пользователей являются: во-первых, по всем вопросам, связанным с использованием сервисов ИТ, пользователи должны обращаться только в бюро АСУ; во-вторых, в рамках бюро АСУ должна существовать выделенная группа сотрудников, которые будут отвечать на запросы пользователей; в-третьих, порядок оказания поддержки конечным пользователям должен быть четко формализован.

С формально-организационной точки зрения, перечисленные нами возможности и пути улучшения позволяют построить реально полезную для всех подразделений производственной компании систему поддержки пользователей, подобные системы принято называть HelpDesk или ServiceDesk [3].

Система технической поддержки пользователей является сервисной структурой, разрешающей проблемы пользователей по обеспечению качества предоставления различных ИТ-услуг, проще говоря, бесперебойной работы аппаратного, программного, телекоммуникационного обеспечения. За основу организации процесса мы возьмем ITIL (библиотека инфраструктуры информационных технологий), которая позволяет выявить проблемные участки ИТ-инфраструктуры, оценить эффективность работы бюро АСУ [4].

Система технической поддержки пользователей на каждом предприятии может быть построена разнообразными способами (имеется в виду реализации процессов поддержки). Существует несколько моделей системы поддержки, например, централизованная, локальная, виртуальная с единым телефонным центром и т. д. Такая система может быть организована как в целях обслуживания внешних клиентов (аутсорсинг обслуживания компьютеров и т. п.), так и внутренних (бюро АСУ производственной компании).

Построение системы ServiceDesk бюро АСУ обеспечит единой точкой входа для всех запросов пользователей, а следовательно, повысит качество предоставления ИТ-услуг инженерно-коммерческому подразделению производственной компании. Команды ServiceDesk реализуют поддержку в соответствии с соглашением об уровне сервиса. Поступающие запросы на разрешение инцидента, на изменение и т.п. эскалируются, отслеживаются и разрешаются в соответствии с регламентами, привязанными к обеспечению заданного уровня качества сервиса, что является неотъемлемой практикой в ITSM [3].

Для дальнейшего исследования нам необходимо определить, какого типа помощь может по-

надобиться пользователям, т.е. объекты и функционал системы поддержки.

Предлагается следующий вариант классификации обращений пользователей в систему поддержки:

- запрос обслуживания. Запрос, связанный с необходимостью обслуживания оборудования или иного компонента ИТ-услуги со стороны бюро АСУ. Например, замена картриджа в лазерном принтере или переконфигурирование программного обеспечения на персональном компьютере пользователя;

- запрос информации (консультации). Пользователю нужна дополнительная информация по ИТ-услуге, о порядке работы и т.п.;

- инцидент. Пользователь не может нормально работать: ИТ-услуга не доступна или качество сервиса не удовлетворяет пользователя;

- запрос документации. Пользователю необходима документация по применяемому оборудованию и программному обеспечению;

- запрос на внесение изменений. Пользователь хотел бы изменить параметры сервиса ИТ либо изменить список получаемых сервисов.

Такая классификация позволяет более эффективно строить обработку обращений. В зависимости от типа обращения оператор диспетчерской службы принимает решение о том, кто будет исполнителем данного обращения. Из разных типов обращений для бизнеса наиболее критичен инцидент. Обработка инцидента - основной процесс, выполняемый системой поддержки пользователей. Сюда входит выполнение мероприятий по восстановлению работоспособности сервиса ИТ в кратчайшие сроки [3].

Создание системы поддержки пользователей – это, в первую очередь, четкое определение правил взаимодействия пользователей с бюро АСУ; правил работы сотрудников системе поддержки пользователей; правил взаимодействия сотрудников бюро АСУ между собой.

Следующим шагом при создании системы поддержки пользователей является организация работы персонала. Как правило, приходится несколько менять организационную структуру информационной службы. Это связано с необходимостью выделить группу сотрудников, которые будут исполнять обязанности диспетчеров, тех, к кому непосредственно будут обращаться пользователи со своими запросами. В случае небольшой организации это может привести к возложению таких обязанностей на одного или нескольких сотрудников бюро АСУ дополнительно к существующим обязанностям. В крупных организациях, а также там, где поддержка очень важна, следует

создать специальное подразделение – диспетчерскую службу поддержки пользователей [4].

Одной из важных функций системы поддержки пользователей, кроме собственно оказания помощи конечным пользователям ИТ-услуг, является накопление информации о методах разрешения типовых инцидентов. Так, информация может стать основой для создания специального ресурса базы знаний, обратившись к которой пользователи смогут самостоятельно решить типовые проблемы [5].

Следующим ключевым элементом системы поддержки пользователей по обеспечению качества предоставления ИТ-услуг являются специализированные технологии и инструментальные средства, используемые в деятельности сотрудников.

Для решения проблем обеспечения качества предоставления ИТ-услуг инженерно-коммерческому подразделению производственной компании могут быть полезны следующие типы программных продуктов:

- системы «самопомощи», т.е. автоматизированные системы, дающие пользователям возможность без участия диспетчера выполнить определенные действия: регистрацию заявок, получение информации и т. д.;

- средства группового взаимодействия и управления работами;

- средства регистрации и учета заявок;

- средства мониторинга сервисов и отдельных их элементов;

- средства анализа и отображения информации;

- базы знаний.

При этом логично потребовать, чтобы система обладала достаточной производительностью и масштабируемостью, функционировала на доступных аппаратных и программных платформах, имела средства разграничения доступа, а также весьма актуальна возможность использования кириллицы в интерфейсе и при регистрации обращений пользователей. [6]

В идеале систему следует строить «с нуля», выбрав за основу достаточно производительную СУБД. В этом случае решение будет максимально полно отвечать потребностям компании. С другой стороны, цена такого решения окажется весьма существенной, поскольку предстоит разработать довольно сложный продукт, обеспечить качество его функционирования и сопровождения. К тому же это потребует длительного времени: системы такого класса не создаются быстро.

Решением проблем обеспечения качества предоставления ИТ-услуг инженерно-коммерческому подразделению производственной компании является выбор одного из имеющихся

на рынке программного продукта. Выбор зависит от потребностей подразделения, а также от соответствия продукта разработанным правилам функционирования системы поддержки и уровню подготовленности персонала [7].

В дальнейшем предполагается исследовать и проанализировать возможные решения, оценить риски и обосновать выбор системы поддержки пользователей для внедрения в инженерно-коммерческом подразделении производственной компании, что позволит решить проблемы обеспечения качества предоставления ИТ-услуг.

#### Список литературы

1. Махмутов Р.Р., Белоусова И.Д. Стратегия повышения эффективности обеспечения ИТ-услуг российской производственно-инжиниринговой компании // Новые информационные технологии в образовании и науке: материалы X международной научно-практической конференции. – Магнитогорск, 2017. – С. 512-516.
2. Зараменских Е.П. Основы бизнес-информатики: монография. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2014. – 380 с.
3. Ксенофонов А. Системы Service Desk, вопросы и ответы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.cio-world.ru/weekly/37748/page4.html>
4. Федоренко С.А. Вопросы поддержки конечных пользователей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.conf.muh.ru/090129/thesis\\_Fedorenko.htm](http://www.conf.muh.ru/090129/thesis_Fedorenko.htm)
5. Функции ITSM. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itsonline.ru/itsm/functions/>
6. Helpdesk (Служба технической поддержки) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.miritec.com/solutions/helpdesk>
7. Махмутова М.В., Васильев М.В. Моделирование решений по внедрению системы службы поддержки пользователей для компании «БАТ Россия» // Современные инновации в науке и технике: сб. науч. трудов 4-й Междунар. науч.-практ. конференции / отв. ред. А.А. Горохов. – Магнитогорск, 2014. – С. 98-102.

#### Сведения об авторах

**Махмутова Марина Владимировна** – канд. пед. наук, доцент, кафедра бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [m.mahmutova@magtu.ru](mailto:m.mahmutova@magtu.ru)

**Белоусова Ирина Дмитриевна** – канд. пед. наук, доцент, кафедра бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [i.belousova@magtu.ru](mailto:i.belousova@magtu.ru)

УДК 378.147:51

## ЗАЩИТА ИСПДн В МГТУ

Илларионова Д.А., Мазнин Д.Н., Баранкова И.И.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются особенности защиты персональных данных в информационных системах персональных данных в МГТУ им. Г.И. Носова от угроз безопасности информации.

**Ключевые слова:** персональные данные, защита персональных данных, информационные системы персональных данных.

В последнее время вопросы защиты персональных данных (ПДн) стали едва ли не самыми актуальными в области информационной безопасности [1]. Главной целью защиты ПДн является обеспечение защиты прав и свобод человека и гражданина при обработке его ПДн, в том числе защиты прав на неприкосновенность частной жизни, личную и семейную тайну и т.д. [2]. Актуальность этой темы объясняется несколькими причинами.

Во-первых, защита ПДн регламентируется конституцией РФ и законодательством РФ.

Во-вторых, ПДн являются конфиденциальной информацией, которую необходимо защищать и доступ к которой должен быть ограничен.

В-третьих, операторами ПДн являются буквально все организации.

МГТУ им. Г.И. Носова является оператором ПДн, поэтому защита ПДн – одна из главных задач в области защиты информации в МГТУ им. Г.И. Носова.

Согласно ФЗ «О персональных данных» от 27.07.2006 №152-ФЗ [3] ПДн должны обрабатываться только в соответствии с заявленными целями. Обработка ПДн в МГТУ им. Г.И. Носова осуществляется в следующих целях:

– оказание услуг в сфере образования (получение высшего образования, среднего профессионального образования и начального профессионального образования);

– формирование баз данных работников, обучающихся и поступающих, заключение договорных отношений с физическими лицами на оказание и (или) выполнения работ;

– кадровый и бухгалтерский учет работников;

– передача данных в Федеральные и Государственные информационные системы.

В МГТУ им. Г.И. Носова обрабатываются ПДн следующих физических лиц (субъектов ПДн):

- работники;
- обучающиеся;
- поступающие.

ПДн могут обрабатываться двумя способами:

1) Автоматизированная обработка – обработка ПДн с помощью средств вычислительной техники.

2) Неавтоматизированная, или обработка ПДн, осуществляемая без использования средств автоматизации.

В МГТУ им. Г.И. Носова ПДн обрабатываются смешанным способом, т.е. автоматизированным и неавтоматизированным.

Для обработки ПДн автоматизированным способом в МГТУ им. Г.И. Носова введены информационные системы персональных данных (ИСПДн).

Для того чтобы понять, какие меры по обеспечению безопасности ПДн нужно применять к ИСПДн, необходимо установить уровень защищенности ПДн в каждой ИСПДн. Уровень защищенности ПДн устанавливается согласно Постановлению Правительства РФ от 01.11.2012 № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [4], и для ИСПДн МГТУ им. Г.И. Носова: уровень защищенности ПДн - УЗ4.

Состав и содержание мер по обеспечению безопасности ПДн, необходимых для обеспечения установленного уровня защищенности ПДн, приведены в приказе ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [5].

В МГТУ им. Г.И. Носова реализация мер по обеспечению безопасности осуществляется комплексно и включает в себя несколько уровней:

- законодательный;
- организационный;
- физический;
- программно-аппаратный.

Законодательный уровень защиты ПДн - это законы, постановления правительства и указы президента, нормативные акты и стандарты, которыми регламентируются правила использования, обработки и защиты ПДн, а также вводятся меры ответственности за нарушения этих правил.

Организационные меры защиты информации в МГТУ им. Г.И. Носова реализованы следующим образом:

- организован режим круглосуточной охраны;
- работники, занятые обработкой ПДн, в обязательном порядке ознакомляются, под роспись в журнале, с положениями законодательства РФ о ПДн, в том числе требованиями к защите ПДн, локальными актами по вопросам обработки ПДн;
- работники, работающие с ПДн, подписывают Обязательство о неразглашении;
- в каждом подразделении назначены ответственные за обработку ПДн;
- назначен ответственный за обеспечение безопасности ПДн;
- организованы работы по проведению систематического контроля за работой персонала с ПДн, порядком учета, хранения и уничтожения документов и машинных носителей, содержащих ПДн;
- организована парольная защита ИСПДн;
- назначен системный администратор, ответственный за создание, присвоение и уничтожение идентификаторов;
- назначен администратор безопасности, ответственный за хранение, выдачу, инициализацию, блокирование средств аутентификации и принятие мер в случае утраты и (или) компрометации средств аутентификации;
- ведутся журналы учета выдачи идентификаторов пользователей ИСПДн;
- ведутся журналы учета выдачи средств аутентификации;
- ведутся журналы учета выдачи машинных носителей ПДн;
- ведутся журналы обращений к ПДн.

Физический уровень защиты ПДн в МГТУ им. Г.И. Носова организован следующим образом:

- введен контроль доступа в здания с использованием электронных пропусков;
- в помещениях с элементами ИСПДн установлены системы охранной сигнализации;

- в помещениях установлены системы пожарной сигнализации;

- помещения с элементами ИСПДн запираются на ключ;

- в помещениях, в которых обрабатывается ПДн, весят шторы-жалюзи;

- на окнах, расположенных на первых этажах, установлены решетки;

- автоматизированные рабочие места, на которых обрабатывается ПДн, установлены так, чтобы избежать получения информации непосредственно с экрана при вводе или выводе информации;

- кабели связи по всему периметру МГТУ им. Г.И. Носова убраны в специальные коробы.

Программно-аппаратный уровень - это совокупность аппаратных [6] и программных средств и мероприятий по их использованию в интересах защиты ПДн.

В МГТУ им. Г.И. Носова для защиты ПДн используются следующие программные и программно-аппаратные средства [7, 8]:

- антивирусные средства;
- специализированные программные средства защиты информации от несанкционированного доступа;
- специализированные программно-аппаратные средства доверенной загрузки;
- используются сертифицированные средства криптографической защиты информации [9];
- осуществляется контроль установки обновлений программного обеспечения, включая обновления программного обеспечения средств защиты информации путем ограничения прав на установку обновлений программного обеспечения неуполномоченных работников;
- межсетевые экраны;
- для передачи данных используется технология VPN;
- осуществляется управление доступом путем деления информации по соответствующим должностям и полномочиям доступа к ней;
- осуществляется идентификация пользователя при входе в ИСПДн;
- ведется аудит событий в ИСПДн [10].

Таким образом, все реализованные меры обеспечения безопасности ПДн, обрабатываемые в ИСПДн МГТУ им. Г.И. Носова, обеспечивают защиту ПДн, а также соответствуют законодательству РФ в области обработки и защиты ПДн.

#### Список литературы

1. Анализ информационных угроз вуза / Баранкова И.И., Михайлова У.В., Самохвал В.Д., Огонесян

- Ш.У. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2013. – Т. 2. – № 71. – С. 157-159.
2. Михайлова У.В., Аименева А.А., Полехина А.В. Технические средства защиты информации // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2012. – Т. 2. – № 70. – С. 27-30.
  3. Федеральный закон от 27 июля 2006 года № 152-ФЗ «О персональных данных». – М., 2007.
  4. Постановление Правительства РФ от 01.11.2012 № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных». – М., 2012.
  5. Состав и содержание организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: утв. приказом ФСТЭК России от 18 февраля 2013 года № 21. – М., 2013.
  6. Коновалов М.В., Михайлова У.В., Хусаинов А.А. Алгоритмы шифрования данных // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2013. – Т. 2. – № 71. – С. 159-161.
  7. Михайлова У.В., Поступная А.П., Хасанова Е.Р. Защита информации по виброакустическим каналам // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2012. – Т. 2. – № 70. – С. 31-33.
  8. Баранкова И.И., Михайлова У.В. Особенности формирования оценочных средств для сформированности компетенций специалиста по информационной безопасности // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2015. – Т. 2. – № 25. – С. 26-30.
  9. Баранкова И.И., Михайлова У.В., Лукьянов Г.И. Прогнозирование локальных и внешних угроз на информационные серверы предприятия // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2017. – Т. 1. – С. 217-220.
  10. Михайлова У.В., Хусаинов А.А. Особенности и проблемы, возникающие при разработке моделей угроз информационной безопасности // Безопасность информационного пространства: сб. материалов XV Всеросс. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / под ред. Д.И. Дик. – Курган: ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», 2016. – С. 72-75.

#### Сведения об авторах

**Баранкова Инна Ильинична** – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой информатики и информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [inna\\_barankova@mail.ru](mailto:inna_barankova@mail.ru)

**Илларионова Дарья Александровна** – студ., кафедра информатики и информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Мазнин Дмитрий Николаевич** – нач. отдела защиты информации, кафедра информатики и информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 519.297

## МЕТОДИКА И АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПЕННОГО ПРОДУКТА ФЛОТАЦИИ

Логунова О.С., Шилов Р.Э., Леднов А.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Целью исследования является определение методики для построения гранулометрической гистограммы пенного продукта процесса флотации. Одним из этапов методики является построение алгоритма сегментации изображения по бликам пузырьков и определения их площади. Особенностью построения алгоритмов является использование бинаризованного изображения с порогом цвета, к которому нечувствительна гистограмма, и возможность оценки площади сегментов. Для разработанных алгоритмов выполнена программная реализация на языке C++. Приведены результаты тестирования алгоритмов для бинарных изображений с различным порогом цвета. Полученные результаты показали, что на основе анализа размеров бликов пузырьков пенного продукта можно произвести гранулометрическую оценку пенного продукта флотационной машины.

**Ключевые слова:** флотация, пенный продукт, изображение, сегментация, алгоритмы.

### Введение

Современный уровень развития вычислительной техники и программного обеспечения позволяет в качестве источника информации о протекании технологических процессов использовать изображения о качестве продукции, о состоянии агрегатов, о состоянии сопутствующих материалов. Получаемые изображения могут быть статичными или входить в состав видеопотока, который позволяет в динамике идентифицировать стабильность процесса. В настоящее время активно развиваются исследования в области:

– оценки качества макроструктуры непрерывнолитой заготовки [1-3] с использованием изображений серных отпечатков поперечного темплета непрерывнолитой заготовки;

– классификации и идентификации дефектов поверхности листового проката на основе оценки видеопотока с линейных фотокамер [4-7].

Классические методы и алгоритмы обработки изображений в полном объеме изложены в трудах Гонсалеса Р., Вудса Р., Шапиро Л. и др. [8-10]. Активно развиваются методы обработки изображений, основанные на комбинации мягких вычислений и с известными детерминированными методами. Однако при обработке изображений, которые получены в производственных условиях, возникают проблемы, приводящие к построению оригинальных методик. На рис. 1 приведены кадры видеопотока для пенного продукта флотации, полученные с интервалом в 1 с. Изучение динамики структуры пенного продукта показало изме-

нение количества и размера пузырьков в ходе процесса обогащения.

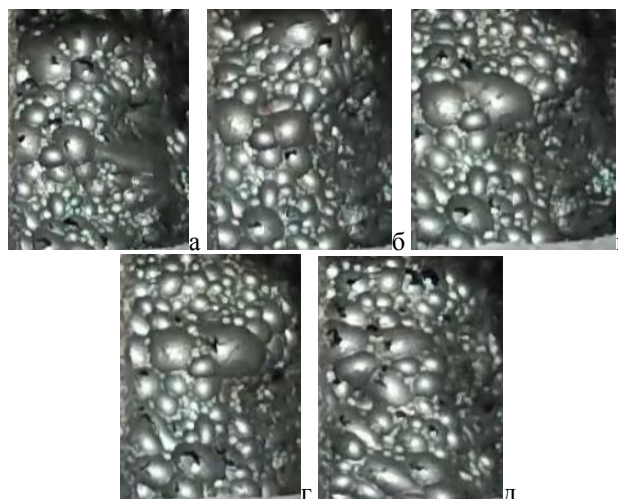


Рис. 1. Кадры видеопотока пенного продукта с интервалом в 1 с для времени: а – 11:00:26; б – 11:00:27; в – 11:00:28; г – 11:00:29; д – 11:00:30

Одним из показателей работы флотационной машины является структура пенного продукта, которая характеризуется гистограммой по размерам пузырьков. В работе [11] доказано, что для построения гранулометрической гистограммы пенного продукта достаточно оценить размеры бликов на поверхности пузырьков, при этом достоверность соответствия составляет более 95%.

Таким образом, задача сегментации изображения пенного продукта флотации сводится к построению методики, построенной на основе последовательности алгоритмов, приведенных на рис. 2.



На рис. 2 введены обозначения: ТП – технологический процесс флотации; СПР – система принятия решения;  $I_j$  – исходный информационный поток: при  $j=0$  – соответствует информации с полевого уровня автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП); при  $j=1$  – изображение пенного продукта; при  $j=2$  – вектор значений порога цвета для бинаризации изображения; при  $j=3; 4; 6$  – бинаризованное изображение; при  $j=5; 7$  – кортеж значений временных параметров и критерии быстродействия алгоритмов; при  $j=8$  – кортеж параметров для сегментов изображения, содержащий линейные размеры пузырька и площадей;  $R_j$  – результирующий информационный поток: при  $j=1$  – соот-

ветствует значению оптимального порога цвета для построения бинаризованного изображения; при  $j=2; 4$  – оценка быстродействия алгоритмов; при  $j=3; 5$  – кортеж параметров для сегментов изображения, содержащий линейные размеры пузырька и площадей;  $j=6$  – гранулометрическая гистограмма для сегментов бинаризованного изображения.

В рамках работы рассматривается алгоритм поиска сегментов с оценкой. Алгоритм рассматривается для бинаризованных изображений. Другие алгоритмы рассматриваются в рамках других работ. Вид бинаризованного изображения приведен на рис. 3.

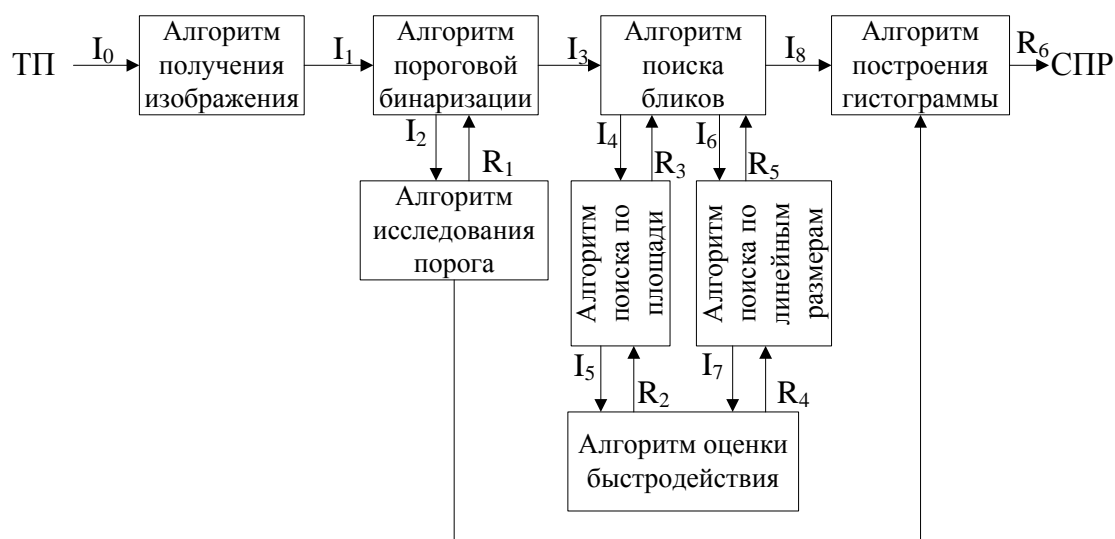


Рис. 2. Методика последовательного использования алгоритмов при сегментации изображения и построения гранулометрической гистограммы для пенного продукта

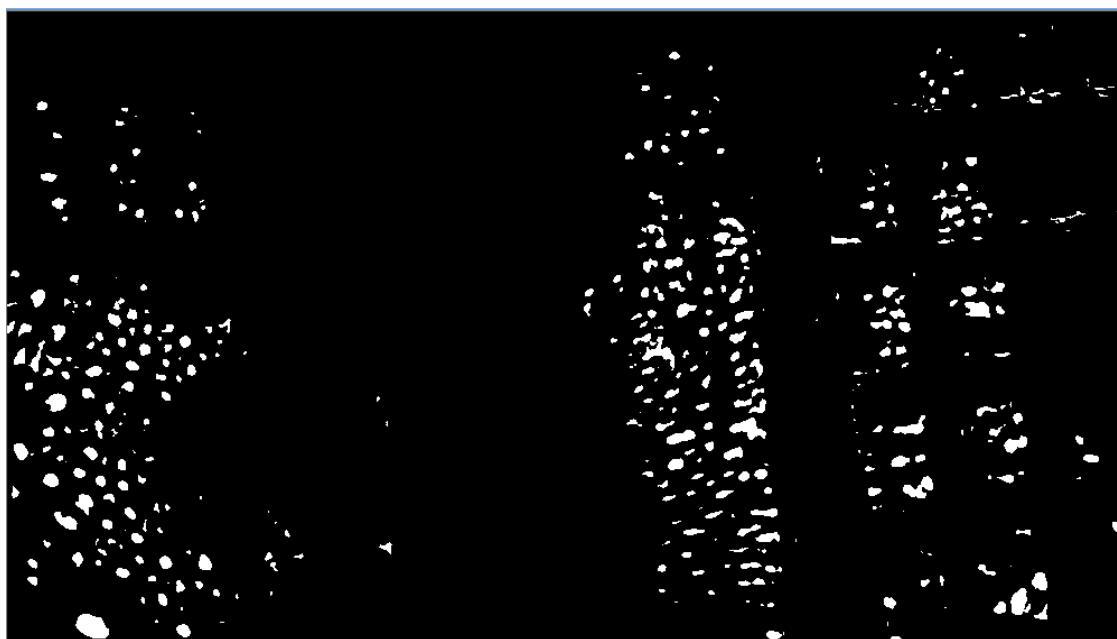


Рис. 3. Вид бинаризованного изображения

### Алгоритм поиска сегментов с оценкой площади

В работе [12] авторы предположили, что достаточно для сегментации изображения ограничиться формой, близкой к окружности. Однако полученные результаты показали наличие грубых отклонений от элементов на исходном изображении. Поэтому предложен к использованию алго-

ритм оценки количества растров, относящихся к одному сегменту.

Алгоритм поиска сегментов с подсчетом количества растров для последующей оценки площади сегмента приведен на рис. 4. Программная реализация предложенного алгоритма позволила получить гистограмму распределения сегментированных фрагментов по размеру (рис. 5).

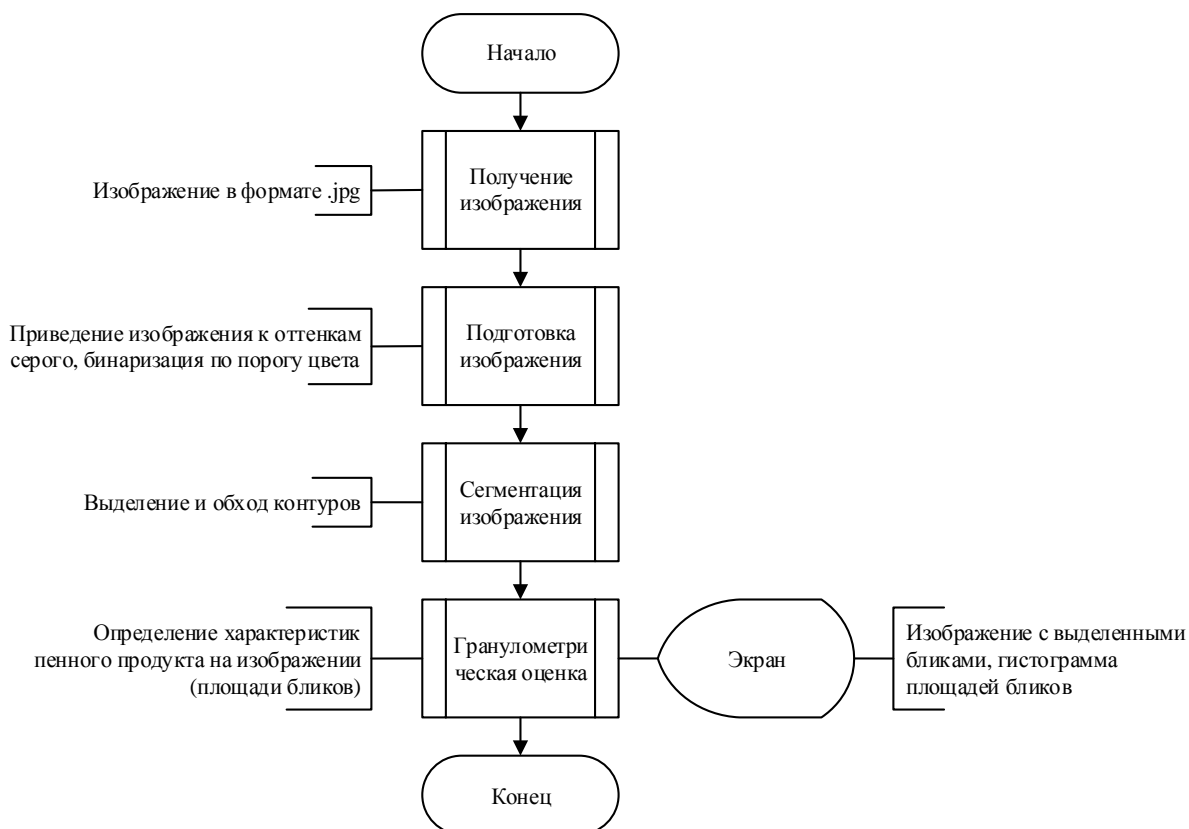


Рис. 4. Блок-схема алгоритм поиска сегментов с подсчетом количества растров

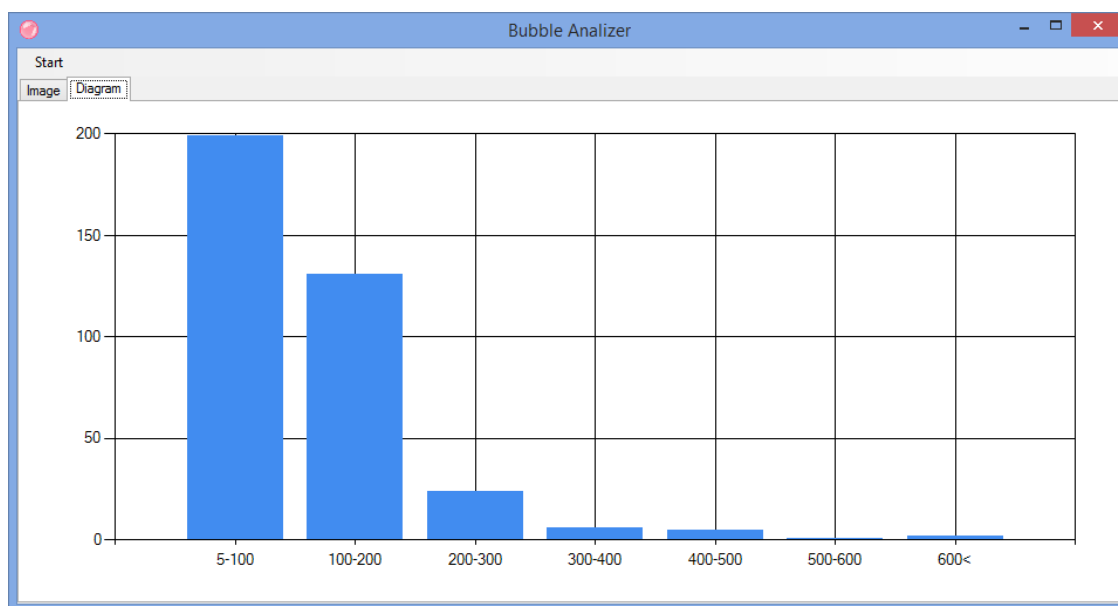


Рис. 5. Гистограмма площадей бликов пузырей

### Заключение

1. В работе выполнена оценка необходимости и возможности применения методов распознавания изображения и его сегментации для пенного продукта флотационной машины.

2. На основе данных, полученных в результате поиска сегментов с подсчетом количества растров, появилась возможность построения гистограммы распределения сегментов бинаризованного изображения, по оси  $x$  которой располагаются диапазоны размеров сегментов, а по оси  $y$  – количество сегментов, попадающий в диапазон.

3. Опираясь на распределение количества сегментов по диапазонам площади в гистограмме, проводится гранулометрическая оценка качества пенного продукта флотации и принимается решение об изменении значений технологических параметров.

### Список литературы

1. Логунова, О.С., Парсункин Б.Н., Суспицын В.Г. Автоматизированная оценка качества непрерывнолитой заготовки // *Сталь*. – 2004. – № 12. – С. 101-104.
2. Логунова, О.С., Девятов Д.Х., Нуоров Х.Х. Оценка качества непрерывно литой заготовки статистическими методами с использованием программных средств // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2005. – № 9. – С. 54-58.
3. Алгоритмы обработки изображений серных отпечатков в системе оценки качества непрерывнолитой заготовки / И.А. Посохов, О.С. Логунова, М.Б. Аркулис и др. – Магнитогорск: Из-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – 131 с.
4. Кузьмин М.И., Соловьев Н.А. Метрологическое обеспечение выделения областей для решения задачи распознавания дефектов // *Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии*. – Оренбург: ОГУ, 2013. – С. 152-156.
5. Маасс Г., Синохин С. Защита от разрывов полосы на прокатных станах с помощью автоматизированного оптического контроля качества поверхности // *Сталь*. – 2013. – № 11. – С. 47-51.
6. Хорошилов А.Д. Разработка эффективных способов снижения отсортировки по дефектам поверхности холоднокатаного проката из сверхнизкоуглеродистых сталей в условиях конвертерного производства / *Научно-технический прогресс в чёрной металлургии*. – Череповец: ЧГУ, 2013. – С. 369-382.
7. Миков А.Ю., Логунова О.С., Маркевич А.В. Математическое обеспечение и структура системы интеллектуальной поддержки системы управления оценкой качества поверхности холоднокатаного проката // *Электротехнические системы и комплексы*. – 2016. – № 1 (30). – С. 45-51.
8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
9. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с.
10. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: Бином, 2006. – 752 с.
11. Сегментация изображения пенного продукта флотации: обоснование замены пузырька их бликами / О.С. Логунова, А.В. Леднов, Р.Э. Шилов, Муслимов М.Б., Байбулатов Ф.Р. // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*. – 2018. – Т.7. – №1. – С. 12-19.
12. Логунова О.С., Шилов Р.Э. Алгоритмы распознавания и восстановления объектов округлой формы на изображении // *Ab ovo ... (С самого начала...)*. – 2017. – С. 89-91.

### Сведения об авторах

**Логунова Оксана Сергеевна** – д-р техн. наук, профессор, директор института строительства, архитектуры и искусства, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: logunova66@mail.ru.

**Шилов Роман Эдуардович** – магистрант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Леднов Анатолий Викторович** – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 621.771.23

## ОСОБЕННОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ОТ КЛАДКИ В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ СТАНА 2500 ПАО «ММК»

Моисеев В.С., Курбетьев К.В., Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Существующие в настоящее время базы данных технологических процессов позволяют решать задачу идентификации геометрического распределения внешних тепловых потерь от кладки металлургических печей и их учета в оптимизационных расчетах. Так как доля таких потерь в общем тепловом балансе велика, то целесообразно их минимизировать за счет выбора соответствующих режимов управления температурным состоянием печи. В работе рассмотрены особенности идентификации геометрического распределения тепловых потерь от кладки в нагревательной печи стана 2500, связанные с возможностью контроля содержания кислорода в отходящих дымовых газах.

**Ключевые слова:** нагревательные печи, тепловые потери от кладки, тепловой баланс, содержание кислорода в отходящих газах, адаптация модели теплотехнического состояния печи.

В металлургическом производстве значительная часть потребляемого топлива расходуется на нагрев металла. Одним из известных предложений в области оптимизации нагрева металла в методических печах является поиск рациональной схемы распределения топливной нагрузки по зонам печи в целях реализации экономичных схем нагрева металла при заданной производительности [1-4].

Однако, пытаясь найти рациональную схему распределения температур в рабочем пространстве печи, как правило, игнорируется тот факт, что общие затраты топлива в значительной степени определяются тепловыми потерями печи, не связанными напрямую с нагревом металла.

В этой связи представляет интерес изучение уровня тепловых потерь в нагревательных методических печах с использованием собранной в базах данных технологической информации для определения особенностей их распределения по длине агрегата.

При выполнении анализа технологических данных необходимо учитывать, что определение уровня потерь теплоты по данным о работе печи в нормальных условиях является чрезвычайно сложной задачей из-за изменения массы металла, проходящего через печь и, как следствие, температурных уровней в отдельных зонах. Это затрудняет идентификацию уровней потерь теплоты при разных режимах без проведения комплексного моделирования процессов теплообмена в печи [5].

Однако задача упрощается при наличии информации о состоянии печи при ее относительно продолжительной работе без металла. Такие периоды возникают при запуске печи после выполнения ремонтных мероприятий. При этом на протяжении нескольких суток печь разогревается и далее переходит в рабочий режим [5]. Ранее уже были проведены подобные исследования тепловых потерь на протяженной печи башенного типа АНГЦ ПАО «ММК» и методической печи стана 5000 ПАО «ММК». На рис. 1, 2 показаны соотношения между уровнями внешних тепловых потерь от кладки различных зон башенной печи АНГЦ и нагревательной печи стана 5000. Видно, что уровни потерь в зонах различны.

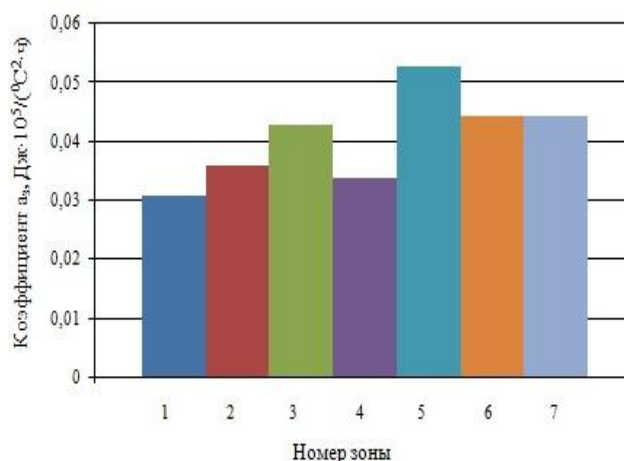


Рис. 1. Результаты определения удельных тепловых потерь  $a_s t^2$  для зон печи башенного типа АНГЦ ПАО «ММК» [6,7]

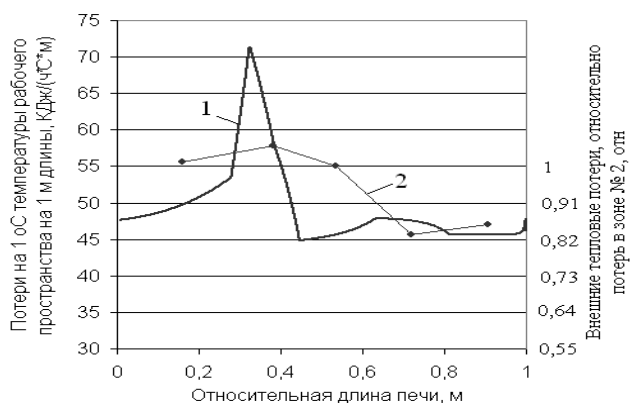


Рис. 2. Результаты определения тепловых потерь для зон методической печи стана 5000 ПАО «ММК»

Используемая при идентификации потерь печи стана 5000 схема расчетов предполагает моделирование движение продуктов горения и учет изменения их температуры. Однако в ходе данных исследований при составлении моделей теплового состояния пространства печи считалось, что поданное топливо сжигалось полностью непосредственно в той зоне, куда оно подавалось. Это может не в полной мере соответствовать действительности, особенно на начальных этапах разогрева печи перед запуском ее в работу. Это в свою очередь снижает достоверность получаемых впоследствии оценок схемы распределения уровней внешних тепловых потерь по зонам.

Разработанная модель поведения продуктов горения была адаптирована по экспериментальным значениям концентрации кислорода в составе отходящих газов (рис. 3) путем введения зависимости коэффициента использования воздуха  $k_v$  на сжигание топлива по отношению к теоретически необходимому  $\alpha_v$  от значения температуры рабочего пространства. На рис. 4 представлена

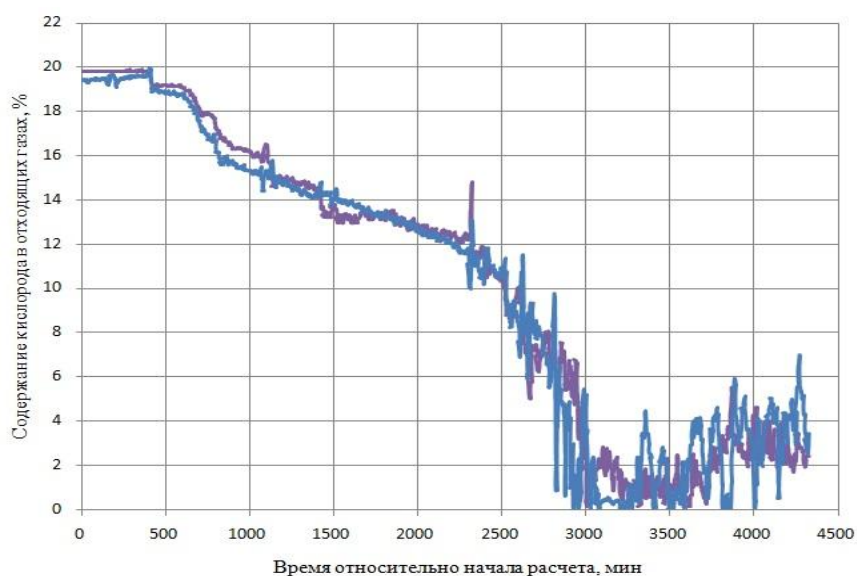


Рис. 3. Адаптация предложенной модели по содержанию кислорода в составе отходящих газов

найденная зависимость произведения  $k_v \cdot \alpha_v$ , глядя на которую можно сделать вывод, что в начальный момент времени, когда печь только разогревается и температура рабочего пространства небольшая, используется всего лишь порядка 20% от поданного воздуха, общий расход которого на всех стадиях нагрева достаточен, исходя из теоретически необходимого, определяемого  $\alpha_v = 6,42$  для используемой смеси коксового и природного газов с теплотворной способностью 23,8 МДж/м<sup>3</sup>.

Из рис. 4 видно, что при высоких значениях температуры рабочего пространства печи при сжигании объемной единицы топлива используется количество воздуха, превышающее теоретическое значение  $\alpha_v$ . На рис. 5 представлены диаграммы, построенные с использованием данных в момент времени, когда печь находится в рабочем режиме. Видно, что в зонах 3, 4 сжигается значительная доля топлива, поданного в зоны 5-11. Учет подобных особенностей необходим при составлении тепловых балансов зон с целью решения задачи идентификации внешних тепловых потерь.

При идентификации потерь от кладки на первом этапе ставилась задача подбора значения коэффициента теплового излучения на кладку греющей средой. В каждой зоне было составлено уравнение теплового баланса.

$$Q_{сг} = Q_{пк} + Q_{пг} + Q_{ппг}, \quad (1)$$

где  $Q_{сг}$  — количество теплоты, выделившейся при сгорании газа;  $Q_{пк}$  — переданное кладке;  $Q_{пг}$  — потраченное на нагрев продуктов горения;  $Q_{ппг}$  — потраченное на нагрев продуктов горения перешедших из предыдущей зоны.

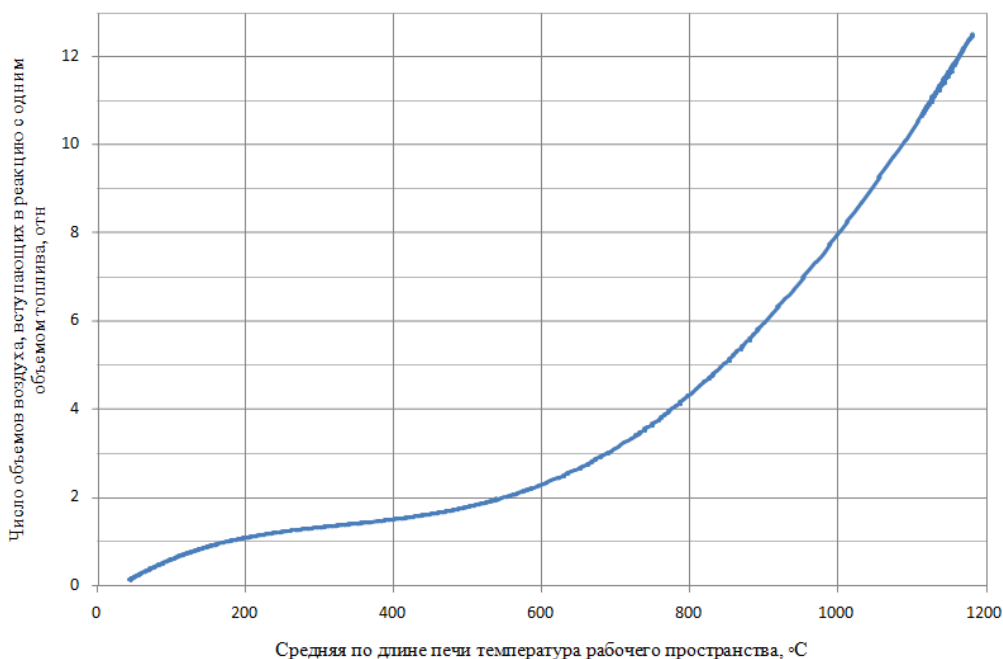


Рис. 4. Найденная при адаптации модели зависимость  $k_v \cdot \alpha_v$  от температуры рабочего пространства

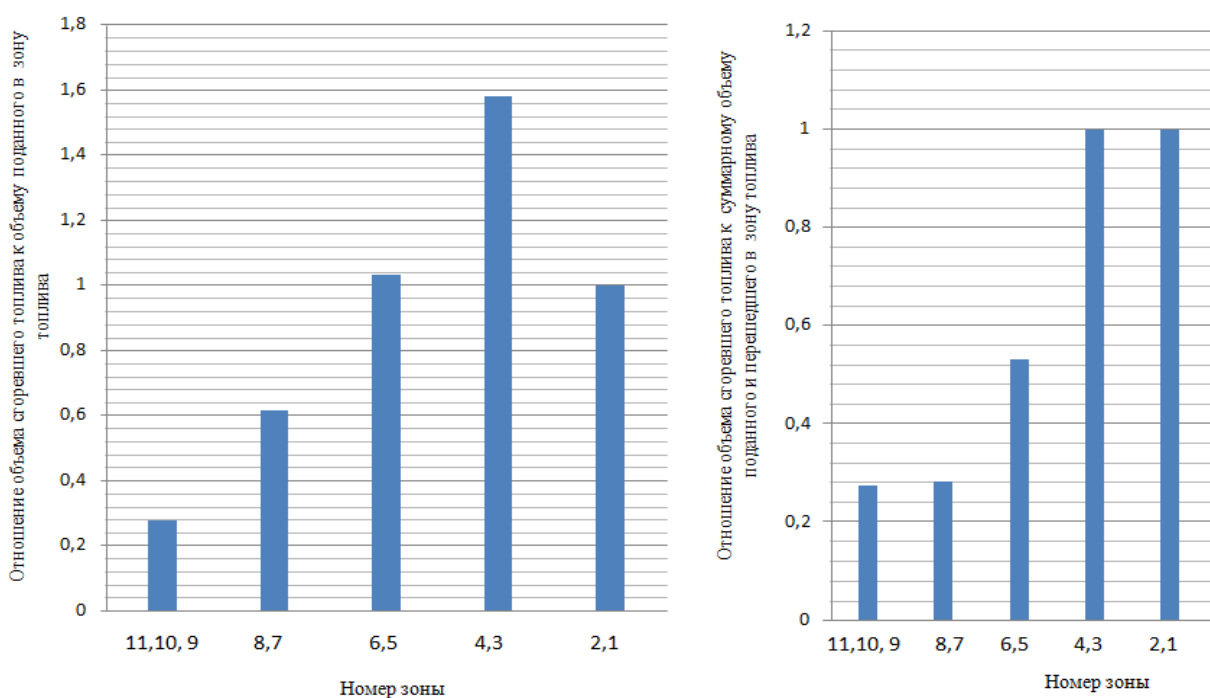


Рис. 5. Применение найденной зависимости коэффициента использования воздуха от температуры рабочего пространства в рабочем режиме

После сведения данного уравнения путем подбора температуры греющей среды был подобран коэффициент теплового излучения греющей среды на кладку. Результаты выборочно представлены на рис. 6.

На втором этапе необходимо подобрать значения параметров теплоемкости и коэффициента внешних тепловых потерь. Для этого в качестве критерия было принято значение суммы модулей

разности между температурой кладки, полученной расчетным путем, и экспериментальным значением температуры кладки. Моделируемое значение температуры кладки было получено путем сложения моделируемого значения температуры кладки в предыдущий момент времени и значения приращения расчетной температуры кладки за время принятой частоты дискретизации расчета, вычисляемой по формуле:

$$\Delta t = \frac{Q_{пк} - a \cdot t_k^2 \cdot S}{S \cdot C_3}, \quad (2)$$

где  $Q_{пк}$  – количество теплоты, переданное кладке, Дж;  $a$  – коэффициент внешних тепловых потерь,  $\frac{Дж}{м^2 \cdot ^\circ C}$ ;  $t_k$  – температура кладки экспериментальная,  $^\circ C$ ;  $S$  – суммарная площадь стенок кладки, пола и свода,  $м^2$ ;  $C_3$  – теплоемкость зоны,  $\frac{Дж}{м^2 \cdot ^\circ C^2}$ .

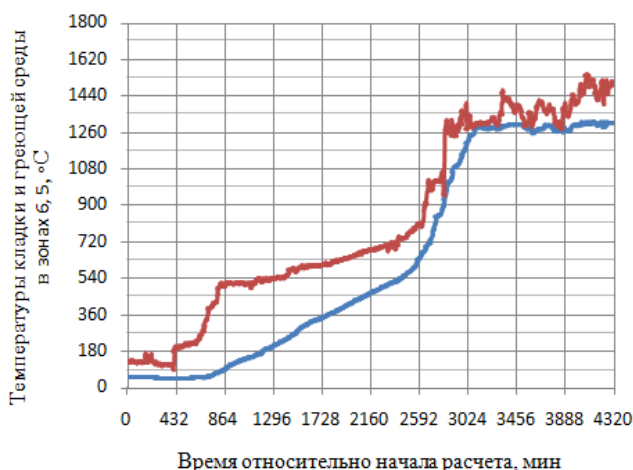
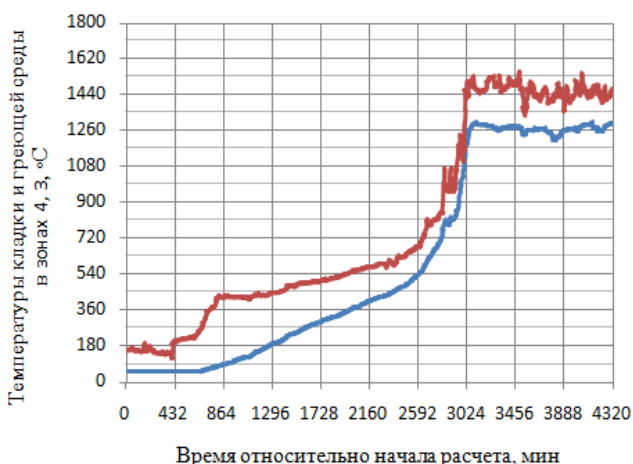


Рис. 6. Значения экспериментальной температуры кладки и рассчитанной температуры греющей среды для зон 4-6

В данной формуле присутствуют подбираемые значения теплоемкости зоны и коэффициент внешних тепловых потерь, приведенные на квадратный метр кладки. Пример рассчитанной динамики изменения температуры рабочего пространства и экспериментальных данных для отдельной зоны приведен на рис. 7.

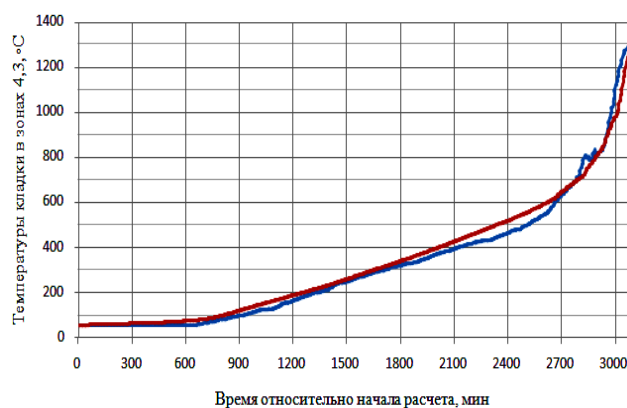


Рис. 7. Значения экспериментальной температуры кладки и моделируемой температурой кладки для зон 3-4

Для выполнения процедуры независимой идентификации тепловых потерь и тепловой емкости по длине печи обязательным требованием является наличие в выборке экспериментальных данных установившегося теплового режима работы.

### Список литературы

1. Андреев С.М. Информационное обеспечение энергосберегающего управления нагревом заготовок перед прокаткой в нагревательных печах листопрокатных станов // Материалы Всероссийской научной конференции по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2015). – СПб., 2015. – С. 162-165.
2. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Logunova O.S., Akhmetov T.U. Energy-saving optimal control over heating of continuous cast billets // The international Journ. of Advanced Manufacturing Technology. – 2015. – Vol. 79. – N 9-12. – P. 1797-1803.
3. Универсальный топливосберегающий способ оптимального распределения тепловых нагрузок по зонам методических печей / Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Жадинский В.Ю., Ахметова А.У. // Сталь. – 2015. – №9. – С. 76-80.
4. Оптимальные топливосберегающие режимы нагрева непрерывнолитых заготовок в методических печах / Парсункин Б. Н., Андреев С.М., Жадинский Д.Ю., Ахметова А.У. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2015. – №3 (51). – С. 89-96.
5. Рябчиков М.Ю., Барков Д.С.Х., Рябчикова Е.С. Управление нагревом металла в методических печах с учетом распределения внешних тепловых потерь по длине печи // Металлообработка. – 2016. – №6 (96). – С. 38-47.
6. Рябчиков М.Ю. Адаптация теплотехнических моделей протяжной башенной печи и нагрева металла для управления температурными режимами отжига стальной полосы // Проблемы управления. – 2017. – № 5. – С. 61-69.
7. Рябчиков М.Ю., Самарина И.Г. Изучение режимов нагрева стальной полосы в протяжной печи башенного типа для светлого отжига // Металлообработка. – 2013. – № 1 (73). – С. 43-49.

**Сведения об авторе**

**Моисеев Владимир Сергеевич** – магистр каф. автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Курбетьев Константин Вячеславович** – магистр каф. автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Рябчикова Елена Сергеевна** – канд. техн. наук, доцент каф. автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Рябчиков Михаил Юрьевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mr\_mgn@mail.ru

---