

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

*Посвящается 70-летию Победы  
в Великой Отечественной войне*

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ  
НАУКИ, ТЕХНИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ**

**Материалы 73-й международной  
научно-технической конференции**

Том 1

Под редакцией В.М. Колокольцева

Магнитогорск  
2015

Редколлегия:

В.М. Колокольцев (главный редактор),  
М.В. Чукин (зам. главного редактора),  
Н.А. Осинцев, К.Г. Пивоварова, М.В. Шубина, Н.Ш. Тютеряков,  
А.А. Николаев, М.Г. Поликарпова, Э.П. Чернышова,  
А.А. Астафьева (отв. редактор)

*Сборник входит в базу данных  
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)*

**Актуальные проблемы современной науки, техники и образования:**  
материалы 73-й международной научно-технической конференции / под  
ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн.  
ун-та им. Г.И. Носова, 2015. Т.1. 281 с.

В сборнике представлены доклады победителей конкурса на лучший доклад 73-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ 2014–2015 гг.

*Сборник издан при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения проектной части государственного задания (Задание № 11.1525.2014К от 18 июля 2014 г.).*

© Магнитогорский государственный  
технический университет  
им. Г.И. Носова, 2015

УДК 622.33

**К.В. Бурмистров, В.Ю. Заляднов, В.В. Якшина,  
З.Р. Даутбаев, И.С. Бурмистрова**

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

***Аннотация.** Проведен анализ развития угольной отрасли в России. Выявлены тенденции роста добычи и потребления угля. Для обеспечения эффективной разработки угольных месторождений со сложными горнотехнологическими условиями перспективным выбрано направление развития комбинированного способа разработки. Совместная открытая и подземная отработка угольных месторождений не имеет большого практического опыта и требует совершенствования научно-методической базы.*

***Ключевые слова:** угольный разрез, шахта, комбинированная разработка, перспективы, производительность, взаимовлияние горных работ.*

Угольная промышленность продолжает оставаться важной отраслью мировой энергетики, а угольное топливо – занимать «вторую строчку» в структуре мирового энергопотребления. Развитие этой отрасли отличается большей стабильностью по сравнению, скажем, с нефтяной, что объясняется целым рядом причин. Среди них – и гораздо лучшая обеспеченность разведанными ресурсами, и постоянный устойчивый спрос со стороны, прежде всего, электроэнергетики и металлургии [1].

Технологическое состояние мировой энергетики и развитие угольной промышленности свидетельствуют о том, что в ближайшие 20 лет доля угля в энергетике и, соответственно, его добыча, особенно энергетического угля, будут расти.

В процессе исследования определено положение угольной отрасли России в структуре мирового объема запасов угля: по данному показателю Россия находится на втором месте после США, в недрах которых сосредоточено не менее 27% от общемировых запасов, тогда как в России данный показатель составляет 17%. В то же время потенциал развития отрасли в нашей стране ограничен наличием стареющих основных фондов и технологическим несовершенством производства.

Полученные в ходе анализа показателей угольной промышленности России результаты свидетельствуют о том, что она является потенциально значимой отраслью с точки зрения развития на мировом рынке. Россия наряду с США и Китаем характеризуется наличием возможности существенного повышения уровня развития своей угольной промышленности, а также возможности достижения высокого экономического роста в данном сегменте [2, 10].

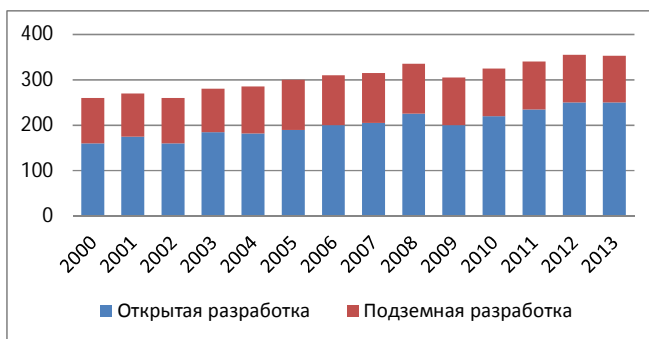
В России, где общие геологические запасы угля – 6421 млрд т, производится около 4,5% общемирового объема угля. По объему добытого угля РФ находится

на шестом месте в мире после Китая, США, Индии, Индонезии и Австралии. В 2013 г. в России добыто 352 млн т угля (среднегодовой темп роста добычи угля к уровню 2000 г. составил 136%) [3].

Промышленные запасы действующих угольных предприятий РФ составляют около 19 млрд т, в том числе коксующихся углей – около 4 млрд т. При существующем уровне добычи угля его запасов хватит на 550 лет и более.

Добыча угля производится в 7 федеральных округах, 25 субъектах РФ и в 85 муниципальных образованиях, из которых 58 являются углепромышленными территориями на базе градообразующих угольных предприятий.

В пределах РФ разрабатываются 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений. Большая часть угля производится в Кузнецком бассейне, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Около 70% добываемого угля в РФ производится открытым способом, соответственно 30% – подземным способом (см. рисунок) [4,7].



Динамика изменения добычи угля в РФ в период 2000–2013 гг.

Наряду с этим в горнодобывающей промышленности страны и за рубежом широко и эффективно используется комбинированная разработка рудных и нерудных полезных ископаемых, когда открытые и подземные горные работы ведутся одновременно на одном и том же месторождении. При этом в большинстве случаев добыча угля даже на одном месторождении осуществляется в условиях, когда разрез и шахта находятся на значительном расстоянии друг от друга и взаимовлияния горных работ не наблюдается.

Анализ условий залегания и эксплуатации действующих угольных месторождений, а также условия вовлечения в разработку новых залежей показывают, что в ближайшее время количество горнодобывающих предприятий, которые перейдут на комбинированную совместную открыто-подземную разработку, будет возрастать, в том числе будет возрастать число предприятий, на которых разрез и шахта будут находиться в зоне опасного взаимовлияния горных работ [5, 9].

Для повышения своей конкурентоспособности угольные компании приобретают оборудование высокой единичной мощности, поскольку оно может обеспечивать более мобильную отработку запасов для своевременного реагирования на изменение спроса на уголь [6, 8]. Такой способ обеспечения конкурентоспособности за последнее десятилетие является общемировой тенденцией на угольных разрезах. Однако из-за ряда горнотехнологических факторов разработки угольных место-

рождений, в том числе взаимовлияния открытых и подземных горных работ, технологически возможная производительность нового дорогостоящего оборудования зачастую не достигается. При этом убытки предприятия могут достигать сотни тысяч рублей за один час простоя оборудования. Таким образом, большая единичная мощность горнотранспортного оборудования обуславливает необходимость формирования разрезов с новыми технологическими параметрами, минимизирующее негативное взаимовлияние открытых и подземных горных работ.

Состояние проблемы использования комбинированной разработки на угольных месторождениях, по имеющимся литературным источникам, касается отдельных технологических схем, способов, не учитывающих геомеханические, геокриологические и климатические условия угольных месторождений. Такое состояние проблемы и уровень ее решения из-за отсутствия знаний закономерностей проявления горного давления и сдвижения горных пород при подземной разработке во взаимосвязи с открытыми работами в сложных горно-геологических условиях, обоснованности безопасных параметров технологических схем ведения открытых работ одновременно с подземными не позволяет эффективно применять прогрессивную комбинированную технологию на угольных месторождениях страны.

Для обеспечения ускоренного и эффективного развития угледобывающей промышленности нашей страны на мировом рынке, для угольных месторождений, находящихся в специфических горно-геологических условиях, требуется разработка новых технологических решений выемки угля, обеспечивающих ресурсосбережение, рациональное использование недр, повышение производительности труда и горнотранспортного оборудования, снижение эксплуатационных затрат и в целом переход к высокоэффективному производству. Прогрессивная комбинированная разработка на угольных месторождениях, в отличие от рудных, не имеет специальных нормативно-технических документов, т.е. современная научно-методическая база по освоению угольных месторождений недостаточно проработана в области взаимосвязи подземных и открытых горных работ.

#### Список литературы

1. Максаковский В.П. Географическая картина мира. Кн. I. Общая характеристика мира. М., 2008.
2. Салиенко Е.К. Статистический анализ развития угольной промышленности в Российской Федерации: автореф. дис. ... канд. экон. наук. М., 2012.
3. Плакиткина Л.С. Анализ развития добычи, экспорта, импорта коксующегося и энергетического, каменного и бурого углей в странах СНГ в период с 2000 по 2013 гг. и тенденции их дальнейшего развития в каждой из стран // Горная промышленность. 2014. №3 (115). С.8-13.
4. Лось И.Н. Научное обоснование комбинированной разработки угольных месторождений Севера: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 1992.
5. Заляднов В.Ю., Осинцев Н.А., Цыганов А.В. Управление «отходами» горно-производства с целью снижения ресурсоемкости процессов открытой геотехнологии // Материалы 63 НТК по итогам НИР за 2003-2004 гг. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 184–187.
6. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А. Расширение области рационального использования техногенных георесурсов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №9. С. 252–258.

7. Принципы управления безопасностью производства при совершенствовании технологических схем карьеров / Цыганов А.В., Осинцев Н.А., Бурмистров К.В., Колонюк А.А., Заляднов В.Ю. // Проблемы повышения экологической и промышленной безопасности производственно-технических комплексов промышленных регионов: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск, 2004. С. 66-68.
8. Оценка эффективности применения крутонаклонных подъемников для транспортирования горной массы при комбинированном способе разработки месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина, А.В. Генкель // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-я межрегион. НТК / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т.1. С. 71-75.
9. Оценка эффективности схем вскрытия законтурных запасов с применением карьерных подъемников / С.Е. Гавришев, В.Н. Калмыков, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина, В.Ю. Заляднов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1. С. 8-12.
10. Бурмистров К.В., Гавришев С.Е. Повышение эффективности разработки рудных месторождений на основе интенсификации горных работ на участках карьера / Магнитогорск. гос. техн. ун-т. Магнитогорск, 2005. 10 с.: ил. Деп. в ВИНТИ 14.04.05, № 506-В 2005.

УДК 62-772.2

**Н.Б. Быков, Б.М. Габбасов**

## **ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК И КОРРЕКТИРОВКА СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕГЛАМЕНТОВ ТОиР**

***Аннотация.** Рассмотрена система технического обслуживания и ремонтов буровых установок ATLAS COPCO CS-14 в режиме реальных условий эксплуатации, позволяющая за счет корректировки регламентных сроков узлов и элементов увеличить показатели надежности более 30% от номинальных. Изучены показатели надежности геологоразведочных буровых установок импортного производства для сокращения внеплановых ремонтов оборудования и повышения производительности.*

***Ключевые слова:** буровые установки, техническое обслуживание, внеплановый ремонт, надежность, регламент.*

Надежность техники – один из важнейших показателей любой отрасли. Безотказная работа узлов и механизмов способствует отсутствию внеплановых ремонтов и сокращению простоев технологического оборудования, что в свою очередь способствует уменьшению себестоимости продукции и увеличению технико-экономических показателей предприятия.

На сегодняшний день буровые установки импортного производства характеризуются наличием комплекса многофункционального взаимосвязанного оборудования. Синтез гидравлических, механических и электрических систем пред-

определяет четкое выполнение рекомендаций завода-изготовителя по техническому обслуживанию и ремонтам.

Но в реальных условиях непрерывной эксплуатации и тяжелых режимов работы сокращается ресурс отдельных элементов, возникают отказы технологических узлов в целом и, как следствие, необходимость проведения дорогостоящего внепланового ремонта.

В связи с этим проведение комплексного исследования процесса эксплуатации и анализа отказов буровых установок с момента запуска в работу носит актуальный характер и дает возможность провести оптимизацию затрат на плановые ТОиР, а также сократить внеплановые простои бурового оборудования.

Для формирования полноценного заключения о надежности оборудования был произведен анализ ресурса элементов узлов по наработке на отказ с начала эксплуатации по текущий момент, в ходе которого по все элементам, вышедшим в межремонтный период, была произведена фиксация наработанных моточасов.

Исходя из полученных данных, прослеживалась тенденция к снижению ресурса некоторых элементов, что впоследствии приводило к отказу узла и оборудования в целом за счет зависимости элементов между собой.

В исследовании рассматривались 3 буровые установки Атлас Копко CS-14 с начала ввода в эксплуатацию. По окончании анализа был произведен подсчет ресурса элементов, имевших место выхода из работоспособного состояния раньше регламентной замены, времени затраченного на восстановление оборудования, для формирования коэффициента готовности в различных вариантах (см. рисунок, табл. 1).

$$K_g = t_w / (t_w + t_p),$$

где  $t_w$  – суммарное время исправной работы объекта;

$t_p$  – суммарное время вынужденного простоя.

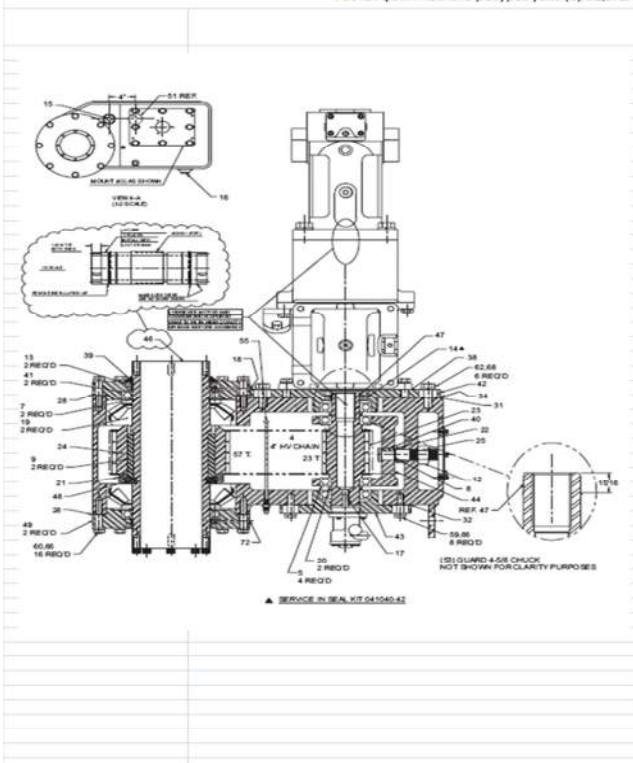
$$K_{g1} = 3000 / (3000 + 750) = 0,8;$$

$$K_{g2} = 1900 / (1900 + 50) = 0,97.$$

Из полученных данных видно, что сокращение межремонтного интервала компенсируется снижением времени на восстановление оборудования за счет отсутствия внепланового ремонта на восстановление трансмиссии вращателя.

Сравнение показателей надежности (табл. 2), сформированных для рассматриваемых систем, показывает, что система до корректировки регламента ТОиР (вариант 1) не позволяет обеспечить необходимые показатели на приемлемом уровне, что негативно сказывается на показателях надежности. Снижение сроков замены элементов, входящих в «группу риска» (вариант 2), позволяет повысить показатели до уровня приемлемых и прогнозируемых.

Расчет фактического ресурса узла (вращатель) буровой установки Atlas Копко - CS14



№	Каталожный номер	Наименование детали	Ресурс детали (Регламент)	Ресурс детали (Факт)	Отклонение
4	0033 23	LG	3000	3000	0
5	0071 75	090013-211 4 BEARING	3000	2100	-900
7	1104 23	090202-600 2 RETAINING RING	3000	3000	0
8	1104 24	090203-98 1 RETAINING RING HVY DUTY	3000	3000	0
9	0009 67	090205-566 2 KEY SQ 1/2 X 1/2 X 4-1/4LG	3000	3000	0
12	9 1	LOCKNUT BOWNA GRIP 1"-8NC	3000	3000	0
13	0073 12	7/8ODX1/2WD	3000	2500	-500
14	6000 55	090365-203 1 OIL SEAL C/R 21668	3000	2500	-500
15	0073 13	090790-7 1 PLUG PIPE MAGNETIC 1-1/4 NPT	3000	3000	0
16	0073 14	090791-5 1 PLUG PIPE MAGNETIC 3/4 NPT	3000	3000	0
17	0071 77	090796-3 1 KEY WOODRUFF #404	3000	3000	0
18	16-1	PLUG PIPE INTERNAL SOC 1/8 NPT	3000	3000	0
19	0071 74	091578-1 2 BEARING SPHER ROLLER THRUST	3000	1900	-1100
20	0073 05	150035-481 2 SPACER	3000	3000	0
21	0073 06	150035-500 1 SPACER SPINDLE SPROCKET	3000	3000	0
22	0073 07	150035-505 1 SPACER STOP	3000	3000	0
23	0073 08	150040-222 1 SPROCKET "HV" CHAIN 23T	3000	3000	0
24	0073 09	150040-223 1 SPROCKET "HV" CHAIN 57 T	3000	3000	0
28	0032 94	150270-180 1 PIN TENSIONER	3000	3000	0
26	108 2	GASKET .015 THK (AS REQ'D)	3000	3000	0
27	109 2	GASKET .032 THK (AS REQ'D)	3000	3000	0
28	0032 98	151174-110 2 GASKET .062 THK	3000	3000	0
31	0033 01	MOUNT	3000	3000	0
32	0033 02	151174-114 1 GASKET PUMP MOUNT	3000	3000	0
34	0033 03	MOUNT	3000	3000	0
35	0033 04	REQ'D)	3000	3000	0
36	0033 05	REQ'D)	3000	3000	0
37	0033 06	REQ'D)	3000	3000	0
38	0033 07	151174-122 1 GASKET .062 THK	3000	3000	0
39	0073 15	5.865X7.375X.231	3000	3000	0
40	0009 68	162614-4 1 KEY SQUARE 1/4 X 1/4 X 3/4LG	3000	3000	0
41	0071 73	162764-2 2 BEARING ROLLER THIN SECTION	3000	2750	-250
42	0033 19	162839-0 1 MOUNT TRANSMISSION	3000	3000	0
43	0033 20	162830-0 1 MOUNT LUBRICATION PUMP	3000	3000	0
44	0033 21	MACHINING CS	3000	3000	0
46	0033 23	162838-0 1 SPINDLE F/CS1500	3000	3000	0
47	0071 72	162839-2 1 SPEEDI SLEEVE 55.0MM GOLD	3000	3000	0
48	0033 24	162840-0 1 RING SPLIT	3000	3000	0
49	0033 25	162843-0 2 CAP	3000	3000	0
51			3000	3000	0
53	0033 47	164430-0 1 GUARD 4 5/8 CHUCK	3000	3000	0
59	0033 74	363666-0 1 TUBE DRILLHEAD OIL 4" CHAIN	3000	3000	0
59	3365 03	5115003 8 HHCS 1/2-13 UNC X 1 1/2 LG	3000	3000	0
60	4002 06	5115303 16 HHCS 1/2-13 UNC X 2 1/4 LG	3000	3000	0
62	3448 03	5117103 6 HHCS 5/8-11 UNC X 1 3/4 LG	3000	3000	0
66	7028 00	5180508 24 REGULAR LOCKWASHER	3000	3000	0
68	0 6	REGULAR LOCKWASHER	3000	3000	0
72	3116 01	5200125 1 1/8 SOCKET PIPE FLUG - DRY	3000	3000	0
73	7225 00	5291026 1 PLUG - O-RING - 16	3000	2100	-900

Ресурс узла (Регламент)	3 000 н/ч
Ресурс узла (Факт)	1 900 н/ч

Показания н/ч			
---------------	--	--	--

∞



Таблица 1

№ п/п		перечне оборудования	Структурное подразделение (код цеха в КИС)	Номер актива в УАП	Наименование оборудования (агрегат, узел)	Кол-во, шт	Виды работ (наименование операции, выполняемой в ходе ТО)	Необходимость останки оборудования (да/нет)	дополнительно выставить отметку о выполнении операции	Интервал / периодичность выполнения работ (операций), час.	Трудозатраты, (чел./час.)	Корректировка		
Буровая установка «Atlas Copco (Christensen CS-14)»														
ППР (3000 м/ч)														
1	Цех 002, рудник	Двигатель Cummins QS6,7	1	Замена ремня навесного оборудования LD 0410461	да	нет	3000	13	3000					
			1	Замена крепежных болтов 090214-214	да	нет	3000	8	3000					
			1	Замена тонкосекционного подшипника 162764-2	да	нет	3000	9	3000					
			1	Замена разрезного кольца 162840-0	да	нет	3000	11	3000					
			1	Замена стопорной шайбы 090343-8	да	нет	3000	7	3000					
			1	Замена стальной прокладки 151174-117	да	нет	3000	15	3000					
			1	Замена комплекта регулировочных прокладок 151174-111	да	нет	3000	6,5	3000					
			Итого									71,5		
			Трансмиссия	1	Замена обоймы шпинделя 091578-1	да	нет	3000	7	3000				
				1	Замена ремкомплекта уплотнений вала вращателя 3719004025	да	нет	3000	5	3000				
		1		Замена прокладки 0,062 дюйма 151174-110	да	нет	3000	3	3000					
		1		Замена распорной втулки 150035-500	да	нет	3000	4	3000					
		1		Замена звездочки шпинделя 150040-223	да	нет	3000	3	3000					
		1		Замена подшипника 091578	да	нет	3000	2,5	1900					
		1		Замена высокооборотной муфты вытяжного механизма 162839-1	да	нет	3000	3	3000					
		1		Замена регулировочной цели 025287-8	да	нет	3000	3	3000					
		1		Замена выходного вала трансмиссии 025001-65	да	нет	3000	5	3000					
		1		Замена верхнего масляного уплотнения шпинделя 09036424	да	нет	3000	2	3000					
		1	Замена нижнего масляного уплотнения шпинделя 09036324	да	нет	3000	3	3000						
		1	Замена подшипника входного вала трансмиссии 162764	да	нет	3000	4	2750						
1	Замена муфты трансмиссии 1643560	да	нет	3000	5	3000								
1	Замена подшипника 090013	да	нет	3000	4	2100								
Итого										53,5				

Таблица 2

Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Отклонение
Интенсивность отказов элементов вращателя	0,97	0,63	-0,341
Вероятность безотказной работы за год, P(t)	0,38	0,53	0,15
Средняя наработка до отказа равна, T <sub>0</sub>	1,03	1,58	0,55

С целью снижения затрат на ремонтный фонд и повышение коэффициента готовности оборудования скорректированы регламенты ТОиР буровых установок и в дальнейшем ремонтные работы выполняются согласно выделенным измененным предписаниям.

Увеличение производительности бурового оборудования, а также уменьшение себестоимости продукции достигается за счет повышения критериев надежности используемого оборудования и совершенствования действующей системы ТОиР.

#### Список литературы

1. Кузнецов В.С. Обслуживание и ремонт бурового оборудования. М.: Недра, 1973.
2. Козловский Е.А., Дьяконов А.Д., Петров П.А. Механизация и оптимизация процессов бурения разведочных скважин. М.: Недра, 1980.
3. Применение высоконапорных поршневых насосов для откачки шахтного шлама / Б.М. Габбасов, А.Н. Рыбаков, А.М. Малов, А.Н. Дутченко // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегион. науч.-техн. конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск, 2013. Т.1. С. 45-48.
4. Поляков Г.Д., Булгаков Е.С., Шумов Л.А. Проектирование, расчет и эксплуатация буровых установок. М.: Недра, 1983.
5. Проблемы, возникающие при эксплуатации высоконапорных поршневых насосов, и способы их устранения / Б.М. Габбасов, А.Н. Рыбаков, А.М. Малов, Р.М. Елютаева // Добыча, обработка и применение природного камня. Сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. С. 149-151.
6. Положение о планово-предупредительном ремонте оборудования, применяемого на геологоразведочных работах / Мин-во геологии СССР; Управление главного механика, энергетики и связи. М., 1978.
7. Гланц А.А., Алексеев В.В. Справочник механика геологоразведочных работ. М.: Недра, 1987.

К.М. Варжина, С.Н. Корнилов

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АДАПТАЦИИ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ГРУЗОВЫХ СТАНЦИЙ ОАО «РЖД» К СУЩЕСТВУЮЩИМ И ПЕРСПЕКТИВНЫМ ВАГОНПОТОКАМ**

***Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы перевозочного процесса железнодорожного транспорта. Определена необходимость снижения загрузки железнодорожных станций и увеличения их пропускной и перерабатывающей способностей. Предложена модель и методика оптимизации путевого развития грузовых железнодорожных станций.*

***Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, грузовые станции, пропускная способность, направления оптимизации, структурные технологии, модель оптимизации путевого развития станции.*

В период инновационных реформ, проводимых ОАО «РЖД» в последнее время, явно просматриваются негативные последствия, отражающиеся в инфраструктурных и управленческих сферах.

Интенсивному развитию транспортной отрасли должно сопутствовать соответствующее развитие транспортно-логистической инфраструктуры. Но в действительности общая длина железнодорожных путей общего пользования с 2003 года снизилась на 102 км и составила 85,3 тыс. км [5]. Также реорганизация ОАО «РЖД», проводимая в последние годы, привела к тому, что вагонный парк был передан предприятиям различных форм собственности. На сегодняшний день насчитываются 1800 операторов, а на сети находятся свыше 1 млн 100 тыс. вагонов, тогда как для перевозки грузов достаточно и 800 тыс. Как минимум, 200–250 тыс. вагонов – избыточный парк. В итоге оборот вагонов вырос практически до 18 суток и в связи с этим значительно увеличилась занятость инфраструктуры [6].

Увеличение времени простоев и объема маневровых работ, снижение производительности – все это повлияло на неравномерность вагонопотоков на сети путей общего пользования. Неравномерность вагонопотоков при перевозке грузов оказывает влияние не только на качество транспортного обслуживания грузовладельцев, но и на показатели эксплуатационной деятельности железных дорог [1].

В результате действия всех вышеперечисленных негативных факторов возникает проблема недостатка пропускной и перерабатывающей способности станций. Решение данной проблемы требует комплексного подхода, так как оптимизация отдельных элементов путевого развития не позволит существенно повысить пропускную способность конкретных станций.

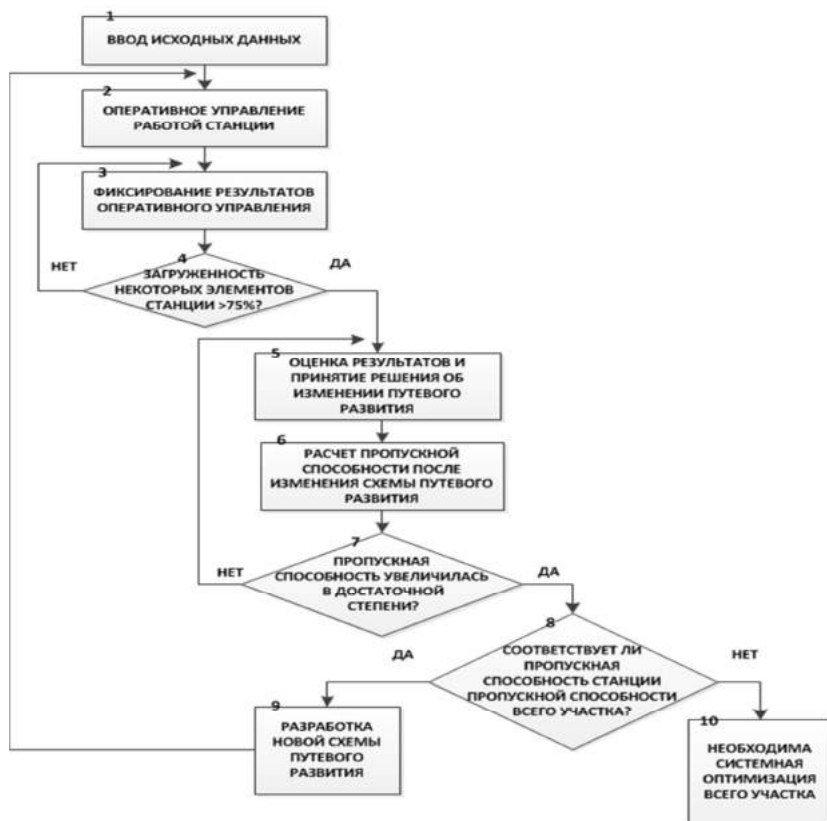
Для решения данной проблемы предлагается модель оптимизации путевого развития грузовой станции. В разработанной модели процесс оптимизации осуществляется за счет изменения параметров схемы путевого развития, её функций и структуры (параметрическая, структурная, функциональная и системная оптимизации [3]).

Для достижения наибольшего эффекта по увеличению пропускной и перерабатывающей способности, в совокупности с поэтапной оптимизацией путевого развития станции, используется метод структурных технологий. Под структур-

ными технологиями понимается совокупность технологических способов, позволяющих управлять свойствами структуры, приближая их к оптимальным в каждом состоянии системы [4].

Совместное применение данных методов в модели позволяет поэтапно решать проблемы, связанные с увеличением загруженности станции.

Укрупненный алгоритм разработанной модели представлен на рисунке.



Алгоритм модели оптимизации путевого развития станции

Первый этап – «Ввод исходных данных». На данном этапе учитывается ряд факторов, влияющих на путевое развитие станции. К ним относятся постоянные факторы, такие как тип графика движения поездов, тип и мощность используемых локомотивов, характеристики вагонов и др. Условно-постоянные факторы, которые не меняются в течение определенного времени, например специализация парков и путей. И переменные факторы, значения которых меняются постоянно, такие как количество прибывших и отправленных составов, время оборота вагона, среднесуточный пробег вагона и др.

Блок 2 – «Оперативное управление работой станции». В данном блоке используются структурные технологии в совокупности с параметрической и функциональной направлениями оптимизации. Так как в процессе работы нередко возникают ситуации, при которых загруженность станции становится больше определенного значения (принято 75%), для их решения применяются методы структурных технологий. Это позволяет снизить загруженность до величины, не превышающей данный предел. Авторами разработана модель оперативного управления работой станции, подробно описанная в работе [2].

Блок 3 – «Фиксирование результатов оперативного управления». В процессе работы, применяя те или иные структурные технологии для уменьшения загруженности станции, фиксируются элементы путевого развития с более высоким коэффициентом занятости. Суммируя полученные результаты, выявляются места на схеме путевого развития, загруженность которых остается высокой после реализации оперативных решений (блок 2).

Блок 5 – «Оценка результатов и принятие решений об изменении путевого развития». Когда загруженность определенных элементов станции составляет более 75% в течение периода моделирования, необходимо выполнить структурную оптимизацию, т.е. изменить схему путевого развития. Основной целью структурной оптимизации является увеличение путевого развития станции.

После моделирования изменения схемы путевого развития производится расчет пропускной и перерабатывающей способности – блок 6. Если они увеличились в достаточной степени и соответствуют пропускной и перерабатывающей способности всего участка, то данную схему можно принять к реализации – блок 9 «Разработка новой схемы путевого развития станции».

В противном случае необходима системная оптимизация всего участка, т.е. возникает необходимость воздействовать не только на путевое развитие рассматриваемой станции, но и на путевое развитие прилегающих участков и соседних станций, с которыми взаимодействует рассматриваемая нами станция. Данные операции осуществляются в блоке 10 – «Системная оптимизация всего участка».

На основании модели разработана методика оптимизации путевого развития грузовой станции. Применение методики приведет к уменьшению неравномерности вагонопотоков; увеличению пропускной и перерабатывающей способности как отдельных грузовых станций, так и участков сети железных дорог; снижению показателя загруженности станций до величины, не превышающей оптимального значения (75%). Кроме этого, совмещая в себе методы оперативного управления работой станции и перспективного планирования по увеличению путевого развития, разработанная методика позволит оптимизировать капитальные затраты на реконструктивные мероприятия.

#### Список литературы

1. Буракова А.В. Неравномерность как свойство транспортного процесса // Наука и техника XXI века: материалы международной заочной научно-практической конференции. Новосибирск: Априори, 2011. 148 с.
2. Варжина К.М., Корнилов С.Н. Выбор направлений повышения пропускной способности железнодорожных станций в условиях усложнения структуры вагонопотоков // Современные проблемы транспортного комплекса России. Магнитогорск, 2014. Вып. 5. С.12-16.

3. Корнилов С.Н., Варжина К.М. Проблемы перевозочного процесса железнодорожного транспорта и возможные способы оптимизации путевого развития станций // Сб. науч. трудов SWorld. Материалы международной научно-практич. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2013». Вып. 4. Т. 2. Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. С.47-52.
4. Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н. Управление вагонопотоками в промышленных транспортных системах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2013. № 1. С. 16-20.
5. Ступин И. С. Дайте дорогу экономике. М.: Эксперт, 2012. №25. С.24-27.
6. Хусаинов Ф.И. К вопросу об оптимальном количестве вагонов на сети железных дорог [Электронный ресурс] // Материалы к докладу на экспертном совете ФАС 26.03.2014. URL: [http://www.hse.ru/data/2014/04/03/.../doklad\\_husainov\\_fas26032014.pdf](http://www.hse.ru/data/2014/04/03/.../doklad_husainov_fas26032014.pdf).

УДК 622.013.3

А.А. Гоготин, А.Н. Ивашов, Ю.Г. Швейкина

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА БЛОКОВ ПРИ ОСВОЕНИИ НАКЛОННЫХ И КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ**

***Аннотация.** Рассмотрены варианты развития горных работ для различных горно-геологических условий при разработке наклонных и крутопадающих месторождений. Произведен расчет максимального количества блоков при освоении месторождения подземным способом.*

***Ключевые слова:** фронт горных работ, производственная мощность, количество блоков, ярус, расчетная методика.*

В настоящее время наибольшее распространение получили две методики определения производственной мощности горного предприятия, исходя из горных возможностей [1–3, 5] для крутопадающих и пологозалегающих месторождений. Определяющим показателем рекомендуемых расчетных зависимостей является количество блоков, находящихся в одновременной отработке.

Обоснование максимального количества блоков, находящихся в отработке, определяется исходя из [4]:

- величины фронта горных работ, который в свою очередь во многом будет зависеть от расположения вскрывающих выработок и параметров залежи;
- способа вскрытия месторождения (одним ярусом или несколькими);
- геологического строения и степени взаимного влияния рудных тел при их отработке.

На основании опыта освоения и геологического строения рудных месторождений были выделены три базовых варианта развития горных работ, для которых осуществляется расчет максимального количества блоков.

1. Рудные тела выдержаны по мощности, длине по простиранию и падению, отработка рудных тел оказывает взаимное влияние друг на друга.

Данное условие достаточно детально было рассмотрено в монографии Д.Р. Каплунова, в которой осуществлялся расчет количества блоков в зависимости от горно-геологических условий, в частности длины рудного тела по простиранию ( $l_{пр}$ ), мощности залежи ( $m$ ) и числа фронтов горных работ в пределах добычного горизонта.

2. Шахтное поле представлено рудными телами большой мощности, выдержанными по падению и простиранию (см. рисунок).

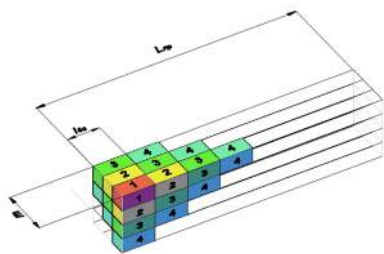
В этом случае количество блоков по горизонтали равно их количеству находящихся в отработке по вертикали, как и в предыдущем случае. Исходя из чего, максимальное количество блоков можно рассчитать по зависимости:

$$n_{max} = \frac{H \cdot m}{h_{эт} \cdot l_{бл}} \quad \text{при} \quad \frac{L_{пр}}{l_{бл}} \geq \frac{H}{h_{эт}} \quad (\text{при направлении фронта от фланга к флангу});$$

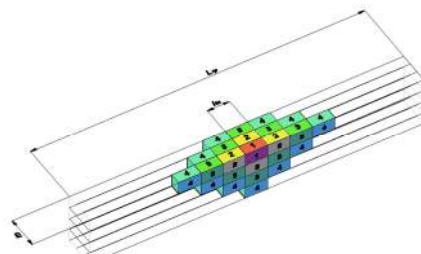
$$n_{max} = 2 \cdot \frac{H \cdot m}{h_{эт} \cdot l_{бл}} \quad \text{при} \quad \frac{L_{пр}}{l_{бл}} \geq \frac{H}{h_{эт}} \cdot 2 \quad (\text{при направлении фронта от центра к флангу}),$$

где  $H$  – высота рудного тела, м;  $h_{эт}$  – высота этажа, м;  $l_{бл}$  – длина или ширина блока (при этом мощность рудного тела должна быть кратна длине или ширине блока), м;  $m$  – мощность рудного тела, м.

а



б



Схемы к расчету числа блоков в одновременной отработке при освоении мощных крутопадающих месторождений.

а – при фланговом расположении вскрывающих выработок;

б – при центральном или диагональном расположении вскрывающих выработок

В противном случае расчет осуществляется по следующим зависимостям:

$$\text{если} \quad \frac{m}{l_k} > \frac{H}{h_{эт}} + 1, \quad \text{то} \quad n_{max} = \frac{L_{пр} \cdot m}{S_{бл}};$$

$$\text{при} \quad \frac{m}{l_k} = \frac{H}{h_{эт}} + 1, \quad \text{если} \quad \frac{m}{l_k} \quad \text{кратно двум, то} \quad n_{max} = \frac{L_{пр} \cdot m}{S_{бл}} - \frac{L_{пр}}{l} - 2, \quad \text{если}$$

$$\frac{m}{l_k} \quad \text{не кратно двум, то} \quad n_{max} = \frac{L_{пр} \cdot m}{S_{бл}} - \frac{L_{пр}}{l} - 1;$$

$$\text{если} \quad \frac{m}{l_k} = \frac{H}{h_{эт}} \quad \text{кратно двум, то} \quad n_{max} = \frac{L_{пр} \cdot m}{S_{бл}} - \frac{m}{l_{бл}} \cdot 2, \quad \text{если} \quad \frac{m}{l_k} = \frac{H}{h_{эт}} \quad \text{не кратно}$$

$$\text{двум, то} \quad n_{max} = \frac{L_{пр} \cdot m}{S_{бл}} - \frac{m}{l_{бл}} \cdot 2 + 1,$$

где  $l_{бл}$  и  $l$  – длина и ширина блока соответственно в зависимости от ее расположения, по простиранию или в крест простирания, м;  $S_{бл}$  – площадь блока, м<sup>2</sup>.

3. Шахтное поле представлено рудными зонами, не оказывающими взаимного влияния друг на друга.

В этом случае расчет максимального количества блоков должен осуществляться по следующим зависимостям:

$$n_{\max} = \frac{H}{h_{\text{эрт}}} \cdot n_{\text{л}} \cdot n_{\text{уч}} \quad (\text{при направлении фронта от фланга к флангу});$$

$$n_{\max} = 2 \cdot \frac{H}{h_{\text{эрт}}} \cdot n_{\text{л}} \cdot n_{\text{уч}} \quad (\text{при направлении фронта от центра к флангу}),$$

где  $n_{\text{л}}$  – количество лент, шт.;  $n_{\text{уч}}$  – количество обособленных участков,

$$n_{\text{л}} = \frac{m}{l_{\text{бл}}},$$

где  $l_{\text{бл}}$  – длина или ширина блока (при этом мощность рудного тела должна быть кратна длине или ширине блока), м;  $m$  – мощность рудного тела, м.

Данная зависимость может использоваться только для участков, идентичных по горно-геологическим условиям, более универсальная формула будет иметь следующий вид:

$$n_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{h_{\text{эрт}i}} \cdot n_{\text{л}i} \quad (\text{при направлении фронта от фланга к флангу});$$

$$n_{\max} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \frac{H_i}{h_{\text{эрт}i}} \cdot n_{\text{л}i} \quad (\text{при направлении фронта от центра к флангу}).$$

При этом если неравенства

$$L_{\text{пр}} \leq l_{\text{бл}} \cdot (n_{\max} + \left(\frac{m}{l_{\text{бл}}} - 1\right)) \quad (\text{при направлении фронта от фланга к флангу});$$

$$L_{\text{пр}} \leq l_{\text{бл}} \cdot (n_{\max} + \left(\frac{m}{l_{\text{бл}}} - 1\right)) \cdot 2 - 1 \quad (\text{при направлении фронта от центра к флангам})$$

не соблюдаются, то максимальное количество блоков находится по зависимостям, приведенным выше или предложенным Д.Р. Каплуновым для каждого отдельного участка и суммируются.

Данная методика позволяет производить расчет максимального количества блоков при обработке месторождения подземным способом и определить производственную мощность рудника по горным возможностям.

Однако это не всегда будет приводить к максимальной прибыли предприятия, а в ряде случаев капитальные затраты на строительство новых рудовыдачных выработок могут ее нивелировать. По этой причине важно оптимизировать производственную мощность предприятий, причем основным экономическим критерием при этом должен быть чистый дисконтированный доход, что позволит учесть содержание полезного компонента в рудной массе.

#### Список литературы

1. Нормы технологического проектирования рудников цветной металлургии с подземным способом разработки: ВНГП – 37.86. М., 1986. 212 с.
2. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий металлургии с подземным способом разработки. ВНГП – 13 – 2 – 98. СПб., 1993. 234 с.
3. Шестаков В.А. Проектирование горных предприятий. М.: МГУ, 1995. 508 с.
4. Каплунов Д.Р. Развитие производственной мощности подземных рудников при техническом перевооружении. М.: Наука, 1989. 264 с.
5. Обоснование производственной мощности рудника по горным возможностям при освоении крутопадающих медноколчеданных месторождений / В.Н. Кал-



мыков, А.А. Гоготин, А.Н. Ивашов, А.Р. Гиззатов // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: сб. науч. тр. по материалам II международной научно-практической конференции. Магнитогорск: МДП, 2015.

УДК 622.341:622.271.3

А.А. Гоготин, А.Р. Яркеев, Р.Д. Дементьев

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИКОНТУРНЫХ ЗАПАСОВ И СПОСОБОВ ВЫДАЧИ РУДНОЙ МАССЫ, ОТРАБАТЫВАЕМЫХ НА СТАДИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА**

**Аннотация.** Рассмотрена возможность применения различных способов вскрытия прикарьерных рудных зон. Построены зависимости дисконтированного дохода от глубины залегания при различных запасах месторождения, а также области применения способов выдачи полезного ископаемого.

**Ключевые слова:** комбинированная разработка, вертикальный конвейер ROCKETLIFT, прикарьерные рудные зоны, способ выдачи.

По данным исследований, 60–65% подземных рудников в мире осуществляют добычу подкарьерных запасов, находящихся ниже отметки дна карьера, и 15–18% предприятий ведут отработку прибортовых рудных зон. Комбинированная разработка позволяет не только сократить сроки ввода в эксплуатацию подземного рудника для отработки приконтурных запасов, но и уменьшить объёмы горнокапитальных работ, а также использовать высокопроизводительное карьерное оборудование и дорожные коммуникации для выдачи рудной массы. Примером являются месторождения: Сибайское, Тулукуй, Учалинское и др. При этом несвоевременное принятие решения о строительстве подземного рудника может привести к разрыву в добыче полезного ископаемого при переходе на подземный способ доработки запасов. В связи с чем необходимо обеспечить оптимальный переход к подземной отработке прикарьерных запасов, при котором не сократятся объёмы производства [1, 2, 5].

Анализом способов освоения месторождений, обрабатываемых комбинированным способом и осуществляющих переход к подземной разработке, были выделены основные факторы (размер зоны сдвижений; состояние берм безопасности; степень сохранности транспортных коммуникаций и др.), которые влияют на способ вскрытия запасов, граничащих с контуром карьера. После чего была составлена классификация технологических способов вскрытия, в качестве основного признака в которой принято расположение рудной зоны относительно карьерного пространства, а в качестве дополнительного – тип транспортных выработок и средств доставки рудной массы. Главной вскрывающей выработкой в первом варианте является наклонный ствол, предназначенный для выдачи полезного ископаемого автомобильным транспортом, во втором случае – вертикальный восстающий с расположенным в нем конвейером ROCKETLIFT.

Выбор средств механизации [3,4], используемой при выдаче полезного ископаемого автомобильным транспортом, был произведён исходя из сравнения за-

трат на оборудование (рис. 1), наиболее перспективным, показал себя автосамосвал Sandvik TH660, которому соответствуют наименьшие затраты при различных запасах и глубине залегания.

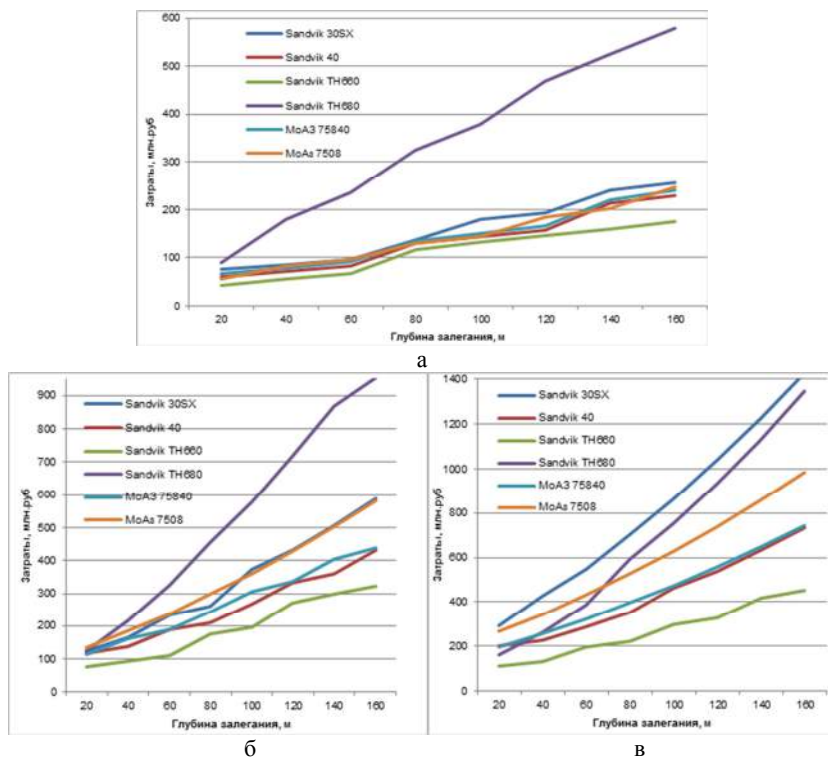


Рис. 1. Графики изменения капитальных и эксплуатационных затрат от глубины залегания при выдаче рудной массы самоходной техникой:  
 а – производственная мощность рудника 2,5 млн т/год;  
 б – 4,0 млн т/год; в – 5,5 млн т/год

Для рассмотренных выше способов выдачи рудной массы установлены зависимости дисконтированного дохода от глубины залегания при различных запасах месторождения, пересечение прямых на графиках определяет область применения того или иного способа выдачи руды на поверхность (рис. 2).

Как показали расчеты, чистый дисконтированный доход при использовании наклонного съезда, как главной рудовыдачной выработки, при больших запасах и глубинах разработки ниже, чем при использовании вертикального конвейера. Это объясняется тем, что с увеличением глубины разработки увеличиваются длина наклонного съезда и, соответственно, расстояние транспортирования рудной массы, что влечет за собой увеличение парка автосамосвалов, затрат на проходку и транспортирование. По результатам расчетов установлена область применения

способов подъема рудной массы при освоении запасов приконтурных зоны карьера (рис. 3).

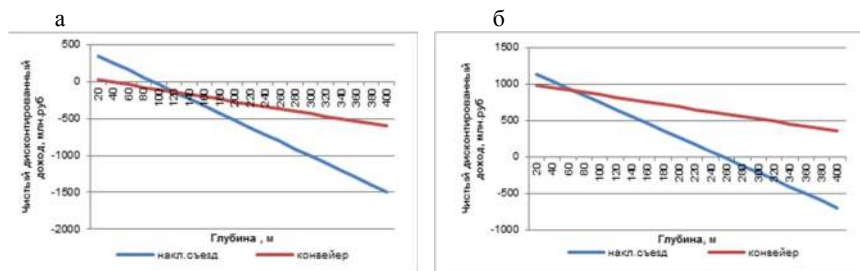


Рис. 2. График зависимости дисконтированного дохода от глубины залегания при различных запасах месторождения: а – 4,2 млн т; б – 12,6 млн т

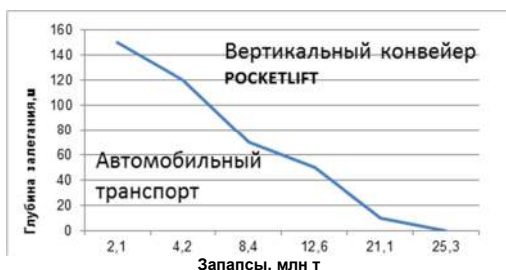


Рис. 3. Области применения способов выдачи рудной массы

Таким образом, зная параметры рудной приконтурной зоны и её расположение относительно карьерного пространства, можно выбрать способ выдачи полезного ископаемого, которому будут соответствовать наименьшие капитальные и эксплуатационные затраты, что позволит обеспечить наибольший экономический эффект от отработки прикарьерных запасов.

#### Список литературы

1. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений: учеб. пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 504 с.
2. Каплунов Д.Р., Калмыков В.Н., Рыльникова М.В. Комбинированная геотехнология. М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2003. 560 с.
3. Скорняков Ю.Г. Подземная добыча руд комплексами самоходных машин. М.: Недра, 1986. 232 с.
4. Пухов Ю.С. Рудничный транспорт. М.: Недра, 1991. 255 с.
5. Изыскания эффективных вариантов отработки железорудных месторождений Бакальского рудного поля / Корнилов С.Н., Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Пыталев И.А., Петрова О.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1 (37). С. 5-10.

М.С. Колкова, О.Е. Горлова, Д.В. Чернов, А.А. Крестьянинов

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТОНКОГО ГРОХОЧЕНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ\*

**Аннотация.** Представлены результаты испытаний установки мокрого высокочастотного тонкого грохочения на апатит-нефелиновой руде Хибинского массива. Определены оптимальные параметры высокочастотного грохота для обеспечения высокой эффективности классификации измельченной руды. Применение мокрого грохочения на высокочастотных грохотах SIBRANA 4РАСК взамен гидроциклонов позволит повысить технологические показатели переработки апатит-нефелиновых руд.

**Ключевые слова:** апатит-нефелиновые руды, измельчение, классификация, тонкое грохочение, высокочастотный, гидроциклоны, эффективность классификации.

В связи с интенсивной разработкой богатых руд и истощением их запасов на обогатительных фабриках в настоящее время перерабатывается менее технологичные типы руд [1]. Кроме того, существующее на современных горно-обогатительных предприятиях оборудование требует обновления или полной замены. Реализация новых или реконструкция существующих схем переработки минерального сырья требует поиска нового недорогого, но в то же время высокоэффективного оборудования.

Компания «Зибра Рус» является подразделением немецкой производственно-инжиниринговой компании SIBRA/TEC GmbH (Франкфурт-на-Майне, Германия) – одного из ведущих предприятий в области проектирования и внедрения процессов переработки полезных ископаемых. Сегодня компанией SIBRA/TEC GmbH успешно решаются различные технические задачи для предприятий горнорудного сектора России. Одна из оригинальных разработок компании SIBRA/TEC GmbH – высокочастотный грохот, предназначенный для разделения как рудного, так и нерудного минерального сырья по классам крупности от 70 мкм и выше.

В 2014 г. в Технологическом центре (ТЦ) компании «Зибра Рус» проведены испытания возможности внедрения операции тонкого мокрого грохочения апатит-нефелиновых руд. По существующим схемам обогащения в цикле измельчения-классификации апатит-нефелиновых руд мельница работает в замкнутом цикле совместно с гидроциклонами. При классификации измельченного материала в гидроциклонах разделение частиц происходит не только по крупности, но и по плотности, поскольку в основе процесса заложен принцип равнопадаемости минеральных частиц в центробежном поле. В результате под действием центробежной силы тяжелые мелкие частицы ценных минералов могут уходить в пески и снова возвращаться на измельчение, а крупные легкие частицы породных минералов вместе с основным потоком воды переходят в слив. Это приводит к возникновению больших циркулирующих нагрузок при работе мельницы в замкнутом цикле с гидроциклонами, переизмельчению материала в процессе его рудоподготовки и, как следствие, снижению технологических показателей последую-

---

\*При финансовой поддержке Минобрнауки РФ, ГЗ 2014/80.

щего флотационного обогащения руды в силу низкой флотационной способности переизмельченных минеральных частиц [2].

Оптимизация цикла измельчения, повышение эффективности процесса классификации и стабилизация процесса флотации на производстве возможны за счет замены гидроциклонов новым высокоэффективным классифицирующим оборудованием – высокочастотными грохотами для тонкого гидравлического грохочения измельченной руды [3]. Эти грохоты снабжены механическим устройством, преобразующим одночастотные (гармонические) колебания корпуса в многочастотные (негармонические) колебания просеивающей поверхности. Это позволяет обеспечить заданное движение материала по ситам, перемещение тонких частиц через слой материала к поверхности, а также самоочистку сетки [4, 5]. При гидравлической классификации материала на просеивающей поверхности разделение происходит только по крупности частиц и на доизмельчение возвращаются только частицы, размер которых превышает установленную флотационную крупность.

Целью выполнения данной исследовательской работы стало установление оптимальных параметров работы установки мокрого тонкого грохочения SIBRANA 1-Pack, предназначенной для полупромышленных испытаний, при грохочении апатит-нефелиновых руд и определения целесообразности замены гидроциклонов на установку высокочастотного грохочения.

Испытательная установка SIBRANA 1-Pack имеет следующие технические характеристики: количество коробов – 2 (расположенные в каскадном порядке); общая площадь поверхности грохочения  $1,4 \text{ м}^2$ ; частота вибраций 45–50 Гц (3200–3600 об/мин); амплитуда колебаний 0,1–1,1 мм; мощность вибромоторов  $2 \times 0,45 \text{ кВт}$ . Разделение материала проводилось на металлотканых ситах с размером ячейки 0,40 мм.

Для проведения исследовательских работ на тестируемой установке тонкого грохочения SIBRANA предоставленная проба апатит-нефелиновой руды первоначально усреднялась и подготавливалась к последующим испытаниям. При установлении оптимальных параметров работы установки во время тестовых испытаний менялись параметры грохочения – мощность вибрации, угол наклона коробов грохота, скорость подачи материала на верхнее сито, размер ячеек сита грохота. Пробы подрешетного и надрешетного продуктов отправлялись на проведение ситового анализа, по результатам которого рассчитывалась эффективность грохочения. Ситовый анализ проводился по стандартной российской методике и автоматически с помощью лазерного дифракционного анализатора с построением гранулометрических характеристик продукта в нормальной и полулогарифмической шкалах. Все испытания проводились в трех параллелях, отклонение между значениями трех опытов не превышало 5%. Результаты проведения испытаний апатит-нефелиновой руды на установке мокрого тонкого грохочения представлены в табл. 1.

Получены следующие оптимальные параметры установки высокочастотного грохота для эффективного мокрого грохочения апатит-нефелиновой руды. При угле наклона короба  $15^\circ$ , частоте вибрации 40 Гц и мощности вибрации 20% эффективность грохочения составила 81%. При увеличении угла наклона короба до  $18^\circ$  при частоте вибрации 40 Гц и мощности вибрации 20% эффективность грохочения возросла до 84,45%. При таких параметрах работы установки материал равномерно распределяется по всей поверхности грохочения, мощности вибрации достаточно для оптимального разделения материала. При этом достигается высокая эффективность классификации материала с достижением требуемой производительности.

Таблица 1

Результаты мокрого грохочения апатит-нефелиновой руды

Угол наклона короба грохо- та, град	Частота вибрации, Гц	Мощность вибрации, %	Эффектив- ность грохо- чения, %	Производи- тельность по пульпе, м <sup>3</sup> /ч	Производи- тельность по сухому, т/ч
10	40	10	59,8	82	64,31
		20	-	-	-
	50	10	-	-	-
		20	-	-	-
15	40	10	74,2	78,9	61,88
		20	81	82,1	64,39
	50	10	71	94,2	73,88
		20	66,25	92,1	72,24
18	40	10	70,8	95,5	74,9
		20	84,45	96	75,3
	50	10	68	94,3	73,96
		20	69	96	75,3

На основании полученных данных была предложена промышленная установка SIBRANA 4PACK, технические характеристики которой приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики промышленной установки SIBRANA 4PACK

Количество коробов	4
Ширина поверхности грохочения, мм	1200 (каждый короб)
Длина поверхности грохочения, мм	1000 мм (каждый короб)
Частота вибраций, Гц	40Гц (3000 об/мин)
Амплитуда колебаний, мм	0,1
Угол наклона корпуса грохота, град	18
Мощность привода, кВт	(4 x 0,45) x 4
Эффективность грохочения, %	84,45

Применение установки высокочастотного мокрого грохочения в циклах измельчения на обогатительных фабриках, перерабатывающих апатит-нефелиновые руды, позволит уменьшить количество циркулирующей нагрузки и повысить качество процесса классификации, обеспечит оптимальную подготовку руды к флотации, а следовательно, и повышение качества получаемых концентратов, что положительно отразится на работе предприятия в целом.

#### Список литературы

1. Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Горлова О.Е. Адаптация разделительных процессов обогащения полезных ископаемых к техногенному сырью: проблемы и решения // Обогащение руд. 2012. №5. С. 43-49.
2. Меринов Н.Ф. Основы теории и закономерности движения минеральных зерен в средах разделения // Изв. вузов. Горный журнал. 2007. №6. С. 67-84.

3. Тонкое грохочение в технологии обогащения минерального сырья [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://library.stroit.ru/articles/tgrohot/index.htm>.
4. Вайсберг Л.А., Коровников А.Н. Тонкое грохочение как альтернатива гидравлической классификации по крупности // Обогащение руд. 2004. №3. С. 23-34.
5. Мамонов С.В., Газалеева Г.И. Современное техническое состояние и технологические возможности тонкого грохочения в обогащении руд цветных металлов // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 6. С. 139-146.

УДК 61-115

**М.Р. Иксанов, И.М. Кутлубаев, О.Р. Панфилова**

### **РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО МОДУЛЯ АНТРОПОМОРФНОГО МАНИПУЛЯТОРА С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ**

**Аннотация.** *Объектом исследования является локтевой модуль с двумя степенями подвижности, аналогичный по кинематическим и силовым параметрам локтевому суставу взрослого человека. Предметами исследования является возможность построения экзомодуля локтевого сустава, способного выполнять действия, аналогичные руке человека. Выполнена разработка конструкторских решений локтевого модуля. Решены вопросы: выбора локтевой схемы, определения геометрических и кинематических параметров, расчета нагрузок на элементы конструкции, определения мощности приводов.*

**Ключевые слова:** *локтевой модуль с двумя степенями подвижности, экзомодуль, кинематическая схема, расчет нагрузок, выбор приводов, компоновка облика, оценка габаритов и массы.*

Создание технических средств восстановления способности к ручной деятельности и самообслуживанию является сложной и во многом нерешенной проблемой. Сложность задачи заключается не только в том, что необходимо создавать легкие и прочные устройства с высоким уровнем миниатюризации отдельных частей, но, главным образом, в принципах построения систем управления.

Активный протез руки изначально предназначен для выполнения сложных рабочих операций, связанных с жизнедеятельностью и самообслуживанием инвалида. Однако современные протезы, как правило, реализуют не более двух активных степеней подвижности. Обычно это сгибание локтя и хват или ротация кисти и хват.

Протез руки должен удовлетворять двум основным требованиям: и функциональной эффективности, и косметичности. В настоящее время первая задача требует решения в соответствии с современным уровнем техники, а решение второй задачи достигнуто в удовлетворительных пределах.

Одним из обязательных компонентов решения проблемы создания современных протезов является разработка компактного и эффективного исполнительного

механизма, обеспечивающего движение утраченной части руки (вплоть до локтевого сустава) человека.

Актуальность исследования обусловлена значительным уровнем сосудистых заболеваний, сахарного диабета, дорожного и производственного травматизма населения, сопряженного с ампутацией верхних конечностей. По данным Росстата, в России количество ампутаций колеблется от тридцати до сорока тысяч в год. Примерно половину из них занимает ампутация верхних конечностей.

В условиях потери человеком верхней конечности выше локтевого сустава (анатомически зона плеча) можно рассмотреть несколько возможных вариантов компоновки экзомодуля локтевого сустава. Рациональность их выбора основывается на функциональности мышц, обеспечивающей ротацию в плечевом суставе, и зависит от индивидуальных физических особенностей протезируемого.

Плечевой сустав обладает наибольшей подвижностью в теле человека и позволяет осуществить пространственные движения.

Совместные движения в плечевом  $K_1$  и локтевом суставах  $K_2$ ,  $N_3$  (рис. 1) и  $K_2$ ,  $N_1$  (рис. 2) представляются следующим образом. Движения в локтевом суставе обеспечивают поворот и ротацию предплечья. При этом совершаются сгибание и разгибание предплечья вокруг фронтальной оси, эти движения происходят в сочленении локтевой кости с блоком плечевой кости. Угол поворота вокруг фронтальной оси равен  $140^\circ$ . Второе движение включает вращение лучевой кости вокруг продольной оси (ротация) и происходит в плечелучевом суставе, а также в проксимальном и дистальном лучелоктевых суставах, которые, таким образом, представляют собой одно комбинированное вращательное сочленение.

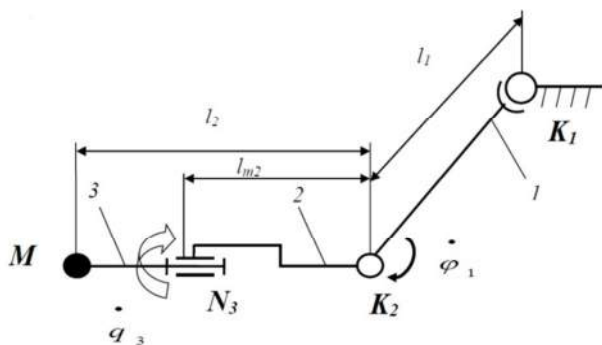


Рис. 1. Кинематическая схема руки человека с протезом:

- 1 – плечо; 2 – предплечье (сгибание); 3 – предплечье (вращение);
- $K_1$  – плечевой сустав;  $N_3$  – кинематическая пара протеза, обеспечивающая ротацию;
- $K_2$  – кинематическая пара, реализующая поворот



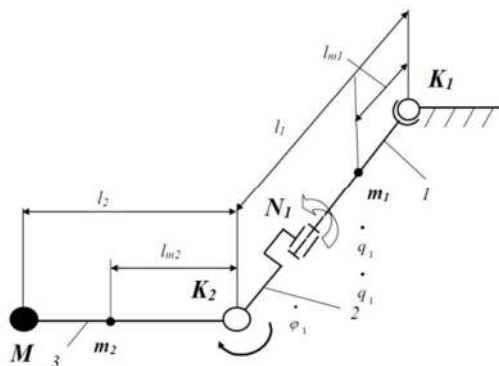


Рис. 2. Кинематическая схема руки человека с протезом:  
 1 – плечо; 2 – протез (вращение); 3 – предплечье; K1 – плечевой сустав;  
 N1 – кинематическая пара протеза, обеспечивающая ротацию;  
 K2 – кинематическая пара, реализующая поворот

Из нескольких вариантов построения локтевого сустава выбран вариант компоновки, представленный на рис. 3, так как он является самым рациональным с точки зрения компактности, наименьших габаритов и малого количества деталей.

Протез локтевого сустава крепится к культe плеча ампутированной конечности.

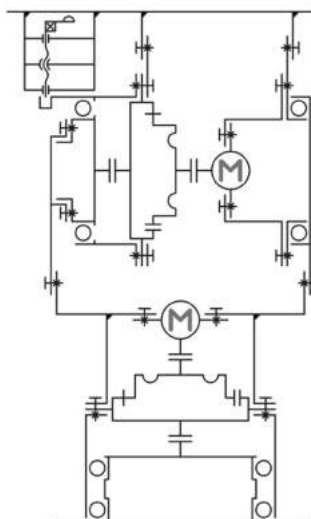


Рис. 3. Кинематическая схема руки человека с протезом в общем виде

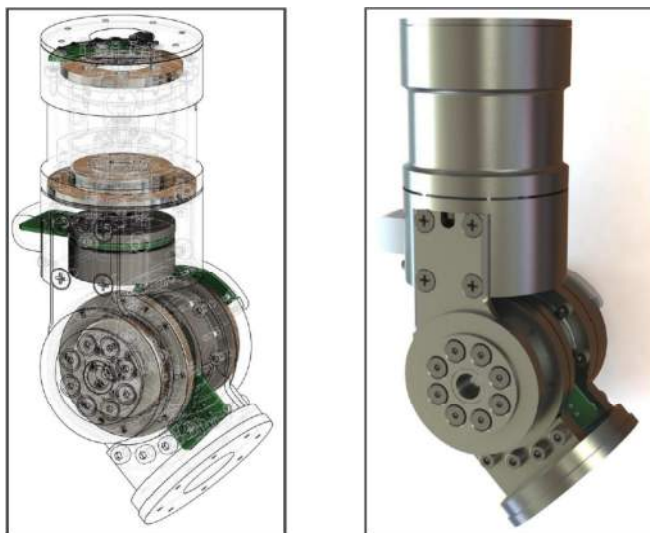


Рис. 4. Общий вид протеза

#### Список литературы

1. Абу Ханья, Язид Ясин Мхесен. Метод и система управления интеллектуальным протезом руки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17 / Абу Ханья Язид Ясин Мхесен. Санкт-Петербург, 2010. 18 с.: 21 ил.
2. Жданов А.А., Полян Е.Л., Сеницын С.В. Разработка адаптивной системы биоэлектрического управления протезом руки // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: труды XIII Международ. науч.-техн. семинара. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 178–180.
3. Сафин, Джемшид Рашидович. Информационно-измерительная система управления биоэлектрическим протезом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16 / Сафин Джемшид Рашидович. Астрахань, 2011. 22 с.: 21 ил.
4. Кацухико Нода. Пособие по применению промышленных роботов: пер. с яп. М.: Мир, 1975.
5. Farwell LA, Donchin E. Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing ... Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 1988; 70: 510–23.

**Н.Н. Орехова, О.Е. Горлова, О.И. Клебан**

## **ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ТЕХНОГЕННОГО ЦИНКСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ\***

**Аннотация.** Рассмотрена проблема дефицита первичного цинксодержащего сырья и возможность его уменьшения за счет использования тонкодисперсных вторичных ресурсов черной и цветной металлургии. Проанализированы существующие и предложены новые технологические решения по вовлечению железоцинксодержащих шламов доменного производства и шламов станций нейтрализации кислых техногенных вод предприятий цветной металлургии в рециклинг цинка. Дана характеристика пылей и шламов, представлены технологические показатели их переработки.

**Ключевые слова:** цинк, вторичные ресурсы, рециклинг, пыли и шламы металлургического производства, переработка.

Дефицит металлического цинка, наблюдающийся в России в течение последних лет, связан с отсутствием необходимого количества металлургических мощностей и с недостатком отечественного цинкового сырья, в связи с чем некоторое количество цинковых концентратов ежегодно импортируется. Потребление рафинированного цинка в России в 2012 г. выросло на 4% и составило примерно 226 тыс.т. Добыча же цинка на российских рудниках в 2012 г. сократилась по сравнению с предыдущим годом на 2,9% и составила 348,1 тыс.т. Около 73% металла добыто на цинково-медноколчеданных месторождениях Республики Башкортостан, Свердловской, Челябинской и Оренбургской областей. Примерно 23% – на месторождениях Красноярского, Алтайского и Приморского краев [1]. Внутренний спрос на цинк в связи с ростом производства оцинкованной листовой стали не удовлетворяется, дефицит оценивается в 50–100 тыс.т. Импорт рафинированного цинка в Россию в 2012 г. увеличился на 20%, до 29,8 тыс.т, в том числе из Узбекистана 21,9 тыс.т и Казахстана 7,5 тыс.т.

В связи с неуклонным ростом объемов цинкового производства в условиях мировых тенденций снижения добычи руд можно прогнозировать дефицит первичного цинксодержащего сырья. Целесообразным решением для уменьшения дефицита цинка является использование вторичных ресурсов, в частности цинксодержащих пылевидных отходов горно-металлургического производства: шлаков медной плавки, осадков станций очистки вод и т.п. Содержание цинка в некоторых отходах сопоставимо с содержанием их в медно-цинковых рудах. Например, в добываемых медных рудах Гайского месторождения содержание цинка составляет 0,45% , в медно-цинковых рудах Учалинского месторождения – 0,83%, в то время как содержание цинка в осадках нейтрализации сточных вод Тарньерского месторождения – 4,04%, а в шламах мокрой газоочистки доменного газа ОАО «ММК» составляет 1,5–1,8%. Такие отходы подлежат ресурсовосстанавливающей переработке.

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ ГЗ 2014/80.

Шламы известкования кислых техногенных вод представляют собой полиминеральную обводненную массу, состоящую преимущественно из кальцита, гипса [2] и воды (свободной, гидратной, в виде адсорбционных оболочек) [3]. Содержание цветных металлов в шламах низкое, и такие шламы, как правило, складываются в шламохранилищах или на дренажных площадках с последующим размещением в отвалах.

Рекомендуемой переработкой подобных отходов является сернокислотное выщелачивание с последующей цементацией для получения меди и реагентным осаждением цинка или электролизом с получением меди и цинка. Способ переработки шламов нейтрализации вод включает их сернокислотное выщелачивание с извлечением меди и цинка, сорбцию меди и цинка в процессе ионного обмена, десорбцию металлов серной кислотой, последовательное извлечение меди и цинка из сернокислого раствора электролизом с получением товарных продуктов в виде катодной меди и металлического цинка. Также в конце цепочки получают очищенную воду и гипсосодержащий товарный продукт [4]. Однако высокая массовая доля (до 35%) в шламах карбоната кальция приводит к значительным удельным расходам серной кислоты, что делает переработку нерентабельной. Большое содержание непрореагировавшего нейтрализующего агента делает шламы по своей природе химически устойчивыми [5]. То есть при проведении нейтрализации кислых металлсодержащих сточных вод должен быть сделан выбор между качеством их очистки из-за снижения избытка щелочного реагента и стойкостью осадка к воздействию кислот.

Более целесообразным является получение селективных металлсодержащих продуктов уже на стадии предочистки кислых вод [6]. В настоящее время на основе методов гидролитического [7] и сульфидного осаждения [8], цементации [8,9], электрофлотокоагуляции [9], ионной флотации [10] и гальванокоагуляции [11] разработан ряд технологий, позволяющих перерабатывать сточные металлоносные воды с получением кондиционного металлсодержащего продукта (см. таблицу).

Другим вторичным источником цинка могут послужить цинксодержащие отходы доменного и сталеплавильного производства в виде пылей и шламов систем очистки отходящих газов. По содержанию железа и кремнезема основная масса железосодержащих шламов текущего производства удовлетворяет требованиям последующей утилизации их в металлургическом переделе, но высокое содержание вредных примесей – цинка и свинца является основной проблемой при рециклинге пылей и шламов металлургического производства. Повышенное содержание цинка в аглошихте приводит к нарушению хода процессов в доменной печи и к ухудшению технико-экономических показателей плавки, что не позволяет возвращать доменные шламы в основной цикл производства чугуна без предварительного обесцинкования. В результате на ряде металлургических заводов приняты решения о сокращении или полном выводе пылей и шламов текущего производства из оборотного цикла, что приводит к ежегодным потерям миллионов тонн железа и сотен тысяч тонн цинка [12].

Современные технологии переработки медно-цинковых вод горных предприятий

Технология	Продукт	Массовая доля металла, %	Остаточная конц. , мг/дм <sup>3</sup>	Авторы
Гидросульфидная последовательного осаждения Zn и Cu	Медный концентрат Цинковый концентрат	Cu – 51,1, Zn – 1,9 Cu – 2, 59, Zn – 49,7	н/д	Халезов Б.Д.
Флотационного выделения меди и цинка	Цинковый сублат Медный сублат Гидролитический осадок	Cu – 4,34, Zn – 57,43 Cu – 74,24, Zn – 0,54 Cu – 2,3, Zn – 27,6	Cu – 0,0008 Zn – 0,007 Fe – 0,1	Чантурия В.А. Медяник Н.Л.
Электро-коагуляционно-флотационная	Цементная медь Железосодержащий осадок Флотоконцентрат	Cu – 66,5, Fe – 3,35, Mn – 1,09 Cu – 1,83, Fe – 52,0, Mn – 0,81 Cu – 0,15, Fe – 0,54, Mn – 50,07	Mn < 0,01 Cu < 0,02 Fe < 2,36	Чантурия В.А. Шадрунова И.В. Медяник Н.Л. Мишурина О.В.
Комплексного гидролитического осаждения с интенсификацией отстаивания флокулянтном	Кек	Cu – 8,5, Zn – 11,3, Fe – 6,9	Cu < 0,1 Zn < 0,2 Fe < 0,3	Набойченко С.С. Мальцев Г.И. Шидловская И.А.
Гальванокоагуляционного извлечения с сорбционной доочисткой	Медьсодержащий продукт Цинксодержащий продукт	Cu – 10,19, Zn – 1,97 Cu – 0,11, Zn – 6,78	Cu < 0,001 Zn < 0,01 Fe < 0,1	Шадрунова И.В. Орехова Н.Н.

Разработаны различные технологии переработки пылей и шламов металлургического производства, которые по способу извлечения ценных компонентов, в частности цинка, можно разделить на гравитационные, гидрометаллургические, пирометаллургические. В основе гравитационных процессов обесцинкования лежит отделение частиц, содержащих цинк, в гидроциклонах в виде более легкой фракции – слива. В основе гидрометаллургических способов лежит обработка цинксодержащей пыли кислотами и щелочами и перевод цинка в раствор, с дальнейшим извлечением цинка из раствора электролизом. Наиболее высокие показатели обесцинкования пылей и шламов достигаются в пирометаллургических процессах. Они основаны на том, что окомкованное или брикетированное цинксодержащее сырье поступает на восстановительный обжиг, чаще всего во вращающихся печах, где одновременно с восстановлением железа при температурах 1100–1300°С цинк возгоняется в виде паров, удаляется из печи вместе с отходящим газом, затем осаждается в фильтрах. Полученная в фильтре так называемая «окись-вельц» содержит 50–60% цинка и является ценным сырьем для цветной металлургии. Большинство из рассмотренных способов не нашло промышленного применения из-за сложности процессов, высоких капитальных и эксплуатационных затрат, необходимости сооружения специальных дорогостоящих установок.

В ОАО «ММК» образуется порядка 180 тыс. т в год шламов газоочистных систем доменных печей. Шламы обезвоживаются на специальной вакуум-фильтрационной установке, после чего используются в составе аглошихты, поскольку содержание железа в них порядка 50%. Но шламы характеризуются и повышенным содержанием цинка 1,5–1,8%, что отрицательно сказывается на работе доменных печей.

На кафедре обогащения полезных ископаемых МГТУ разработан способ обесцинкования доменных шламов с использованием обратной флотации. При обратной флотации цинксодержащие компоненты шламов и другие примеси в составе шламов флотировались в пенный продукт. В камерном продукте содержание цинка по сравнению с исходными шламами снижалось в три раза, с 1,35 до 0,5%, а содержание железа повышалось с 50 до 57%. В качестве собирателя цинксодержащих примесей в составе шламов использовался катионный собиратель «Флон». Пенный продукт основной флотации направляется на перечистку с целью повышения в нем содержания цинка и получения промпродукта с содержанием цинка 7–8%. Камерный продукт направляется на мокрую магнитную сепарацию для повышения качества как железосодержащего концентрата. В результате получается железосодержащий концентрат с содержанием железа 61–62% и цинка 0,4–0,45%, который отвечает требованиям к сырью для агломерации, и цинксодержащий промпродукт с массовой долей цинка 7,5%, который можно рассматривать как цинксодержащее сырье для цветной металлургии [13].

Масштабность накопленных к настоящему времени и образующихся объемов техногенных цинксодержащих промышленных отходов обогатительных и металлургических производств при ограниченности в России собственной минеральной рудной базы цинка позволяет считать их альтернативным источником сырья для получения металлического цинка.

## Список литературы

1. Состояние и использование минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mineral.ru/Facts/russia/131/301/index.html>.
2. Зубков А.А., Шулина З.М. Технология утилизации шламов станций нейтрализации кислых вод // Маркшейдерия и недропользование. 2010. № 2. С. 21-24.
3. Медяник Н. Л., Мунтяну О. В., Строкань А. М. Осадки нейтрализации кислых техногенных вод медноколчеданных месторождений и методы их исследования // Горн. инф.-анал. бюл. 2008. № 7. С. 370-374.
4. Пат. 2482198 РФ. Способ переработки шламов нейтрализации кислых шахтных вод / Черный М Л. и др.
5. McDonald. D. M., Webb. J. A. and Taylor. J. 2006. Chemical stability of acid rock drainage treatment sludge and implications for sludge management. Environmental Science and Technology. 40(6). 1984-1990.
6. Шадрунова И.В., Орехова Н.Н. Эколого-экономические аспекты комплексной переработки техногенного гидроминерального сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № S1. С. 161-179.
7. Шидловская И.П., Мальцев Г.И., Набойченко С.С. Определение оптимальных условий осаждения гидроксидов металлов-примесей при очистке сточных вод // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2005. № 6. С.14 - 17 .
8. Халезов Б.Д. Исследования и разработка технологии кучного выщелачивания медных и медноцинковых руд: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.02. Екатеринбург, 2008. 53 с.
9. Технология электрофлотационного извлечения марганца из техногенного гидроминерального сырья медноколчеданных месторождений Южного Урала / В.А. Чантурия, И.В. Шадрунова, Н.Л. Медяник, О.А. Мишурина // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2010. №3. С.92-99.
10. Медяник Н.Л., Чантурия В.А., Шадрунова И.В. Квантово-химический метод выбора реагента-собиравателя и его использование в процессе флотационного извлечения катионов цинка и меди (II) из техногенных вод горных предприятий //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. №.1. С. 155–165.
11. Орехова Н.Н., Чалкова Н.Л. Технология селективного извлечения цинка из гидротехногенных георесурсов медноколчеданных месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 3. С. 55–59.
12. Горлова О.Е., Тарасова А.Е., Ефремова О.Г. Изыскание путей комплексной переработки шламов доменного производства // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №4 (12). С. 4–6.
13. Горлова О.Е., Хасанов Н.И. Возможности и перспективы утилизации железосодержащих отходов Магнитогорского металлургического комбината // Черная металлургия. 2013. №2 (1358). С. 112-117.

В.С. Безверхий, А.Д. Кольга

## ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНАЯ ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ МУФТА С РЕГУЛИРУЕМЫМ КРУТЯЩИМ МОМЕНТОМ

**Аннотация.** Рассмотрена конструкция предохранительной гидравлической муфты со сплошным кольцевым и несколькими цилиндрическими отверстиями. Исследована зависимость распространения давления между стенками цилиндрического отверстия и внутренней стенкой полумуфты.

**Ключевые слова:** давление жидкости, линия деформации, контактная площадь, контактное давление, сжимающие и растягивающие напряжения, крутящий момент, зона деформации.

Предохранительная гидравлическая муфта фирмы VOITH [1] (рис. 1) способна передавать большие крутящие моменты, предохранять механизм от перегрузок и имеет широкий спектр регулирования крутящего момента. При исследовании данной муфты были определены следующие недостатки: сложность конструкции, трудоемкость создания кольцевого отверстия в полумуфте.

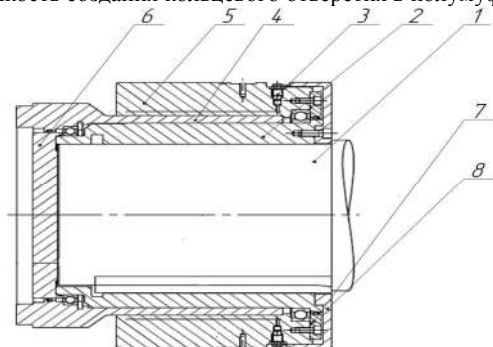


Рис. 1. Предохранительная гидравлическая муфта фирмы VOITH:

- 1 – вал; 2 – втулка со шпоночным пазом; 3 – срезной болт;  
4 – хвостовик выходного вала; 5 – предохранительная гидравлическая муфта;  
6 – глухая крышка

Одним из вариантов снижения трудозатрат и уменьшения количества деталей муфты является использование нескольких цилиндрических отверстий (рис. 2) вместо кольцевого отверстия.

Муфта представляет собой две полумуфты 3, 4 с выполненными в них отверстиями 9, соединенные между собой болтами 8. Вставка 2 предназначена для обеспечения монтажного и ремонтного зазора. Соединение между полумуфтами 3, 4 и валами 1, 6 обеспечивает посадка с натягом при деформации стенки внутренней поверхности полумуфт с помощью давления жидкости. При использовании данной конструкции возможно варьировать количество отверстий в зависимости от передаваемого крутящего момента.



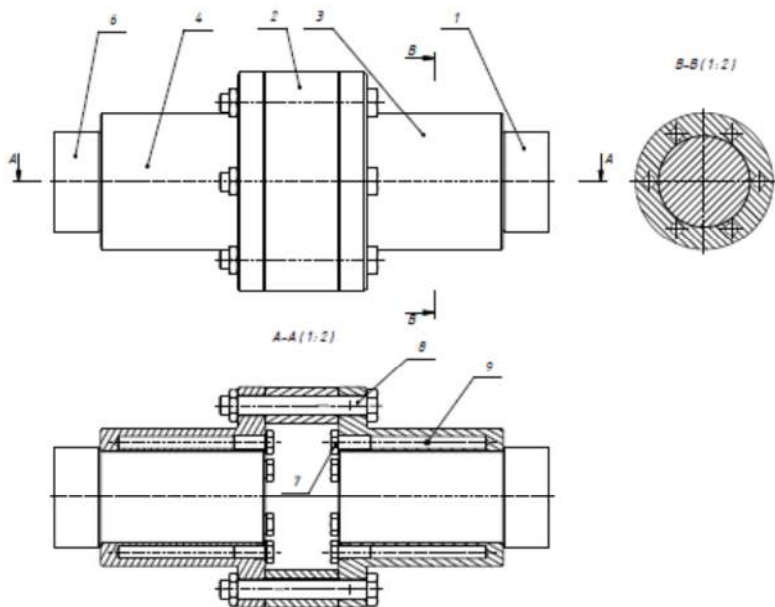


Рис. 2. Гидравлическая муфта с выполненными отверстиями в полумуфте:  
 1, 6 – валы; 2 – монтажные полукольца; 3, 4 – полумуфты с цилиндрическими отверстиями; 7 – пробки; 8 – болтовое соединение; 9 – цилиндрические отверстия

Расчет муфты [1] заключается в том, что теперь контактная площадь будет напрямую зависеть от давления жидкости и количества отверстий. В конструкции муфты компании VOITH площадь была неизменной для одного типоразмера муфты в предлагаемой конструкции из-за того, что используется несколько отверстий, а не сплошное кольцевое отверстие в полумуфте, появляются зоны без деформации. Это связано с тем, что от давления жидкости деформируется отверстие и область около него, распространение деформирующего усилия по полумуфте происходит по прямой от центра отверстия до внутренней стенки полумуфты (рис. 3).

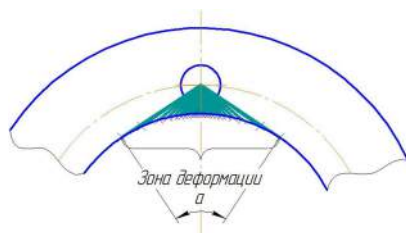


Рис. 3. Направление линий деформации от давления жидкости

Изменение площади в зависимости от давления жидкости влечет за собой неравномерность величины контактного давления при сопряжении вала и полу-муфты. Для нахождения контактного давления  $P_k$  преобразуем стандартную формулу в интегральное уравнение, где границами интеграла выступает величина деформации  $U_r$  внутренней стенки. Формула нахождения  $U_r$  выглядит следующим образом:

$$U_r = \frac{r_1}{E} * \left( \frac{2k^2}{1 - k^2} \right) * p. \quad (1)$$

Формула нахождения контактного давления [2]

$$p_k = \int_0^{U_r} \frac{U_r * E}{r_2 \left( \frac{1 + C_1^2}{1 - C_2^2} + \mu \right)} * dU_r. \quad (2)$$

Крутящий момент определяется по следующей формуле:

$$M_{max} = \frac{P_k * l * (r * \alpha)^2 * f * \pi * n}{2 * 10^3}. \quad (3)$$

Исходя из вышеприведенных зависимостей можно сделать вывод, что для изменения максимального передаваемого крутящего момента без изменения давления жидкости нужно увеличивать количество отверстий. Это связано с тем, что использование цилиндрических отверстий приводит к появлению зон с малой или нулевой деформацией. Это связано с действием давления жидкости, направленного по радиусу из-за большего расстояния приложения сил от давления. При увеличении количества отверстий зон без деформации можно уменьшить так, чтобы линии действия давления одного отверстия будут пересекались с другими линиями и создавать результирующие значения усилий на деформацию и увеличивать ее значения. Также преимуществом такой конструкции можно считать различные вариации числа отверстий, в зависимости от поставленных задач по передаче крутящего момента.

#### Список литературы

1. Беликов Г.В. Основы расчётов прочностной надёжности специальных элементов конструкций автомобилей и тракторов: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 98 с.
2. Белкин И.М. Допуски и посадки. М.: Машиностроение, 1992. 340 с.
3. Сайт компании Voith. 2002 [Электронный ресурс]. URL: <http://voith.com/en/index.html> (дата обращения: 18.05.2015).
4. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. Л.: Политехника, 1991. 384 с.
5. Кольга А.Д. Привод тормозной системы автомобиля. Возможности повышения эффективности // Автомобильная промышленность. 2002. № 6. С. 12–14.

Д.В. Кузьмин

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ КОНТРЕЙЛЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

**Аннотация.** Представлено описание состава системно-динамической имитационной модели создания и развития контрейлерного терминала на региональном уровне. Приводятся результаты исследования факторов, определяющих эффективность контрейлерных перевозок.

**Ключевые слова:** контрейлерные перевозки, терминал, имитационное моделирование, системная динамика, AnyLogic, региональные перевозки, организация перевозок.

Ценообразование на услуги контрейлерной перевозки является многокомпонентным и зависит от большого количества факторов. Учитывая потенциальную необходимость в дотациях и региональную значимость контрейлерных перевозок, актуальным является вопрос минимизации суммарных затрат на удовлетворение всего регионального спроса на перевозки [1, 2].

На региональном уровне перечисленные проблемы сводятся к решению задач оценки потенциального спроса на контрейлерные перевозки в регионе с последующим определением рациональных параметров контрейлерного терминала и рационального места его расположения [3–5].

Разработанная в среде AnyLogic системно-динамическая модель региональных контрейлерных перевозок основана на следующих основных предположениях:

- грузовые перевозки в регионе осуществляются автомобильным и железнодорожным транспортом. Известны объемы и средняя дальность перевозок этими видами транспорта на момент начала моделирования;
- известна динамика совокупного спроса на грузовые перевозки в регионе, определяемая объемом промышленного производства;
- изменение объема перевозок, осваиваемых определенным видом транспорта, а также возникновение потребности в контрейлерных перевозках определяются увеличением спроса на перевозки повышенного качества и изменением дальности таких перевозок;
- спрос на перевозки повышенного качества пропорционален разнице между средними складскими затратами грузовладельцев и средними затратами на перевозку;
- для удовлетворения потребности в перевозках повышенного качества грузовладелец выбирает вид транспорта, обеспечивающий минимальные суммарные затратами на хранение и транспортировку грузов;
- возникновение спроса на контрейлерные перевозки в регионе удовлетворяется созданием контрейлерного терминала, место расположения которого на железнодорожных станциях региона определяются минимумом затрат на сооружение терминала.

Структура имитационной модели региональных контрейлерных перевозок включает в себя следующие блоки: Блок I – формирование и удовлетворение спро-

са на перевозки; Блок II – моделирование динамики затрат на создание системы контейнерных терминалов в регионе; Блок III-1 – моделирование динамики эксплуатационных затрат на контейнерные перевозки; Блоки III-2 и III-3 – моделирование динамики эксплуатационных затрат соответственно на железнодорожные и автомобильные перевозки; Блок IV – моделирование динамики суммарных транспортно-складских затрат, возникающих при удовлетворении потребностей региона в грузовых перевозках.

Если спрос на качественные перевозки эффективно удовлетворять путем организации контейнерных перевозок и(или) в регионе возникает спрос на контейнерные перевозки обычного качества, но с меньшей, по сравнению с остальными видами транспорта, стоимостью, то в регионе возникает необходимость формирования сети контейнерных терминалов. В разработанной модели такая ситуация возникает при потоках «увеличение\_КАЧ\_КТ» или «суточный\_объем\_КТ» ненулевой интенсивности. Величина запаса в накопителе «спрос\_перевозки\_КТ» соответствует суммарному спросу на контейнерные перевозки (в тоннах).

Выбор железнодорожных станций региона для размещения контейнерных терминалов производится по критерию минимума потока денежных средств на строительство (Блок II имитационной модели) и эксплуатацию (Блок III-1) региональной системы терминалов в течение периода моделирования, при условии полного удовлетворения потребности региона в контейнерных перевозках. Региональная сеть контейнерных терминалов описывается в модели набором параметров «вариант\_1», «вариант\_2» и т.д., каждый из которых принимает значение 0 или 1, в зависимости от того, размещен или нет контейнерный терминал на соответствующей станции. Варианты размещения характеризуются затратами на строительство определенного терминала – «затраты\_Строительство» и его перерабатывающей способностью – «перерабатывающая\_способность\_КТ», заданных в модели массивами значений. Затраты на строительство включают в себя затраты на путевое развитие терминала, увеличение парка маневровых локомотивов, создание внутерминальной инфраструктуры, а также организацию вспомогательных служб (охраны правопорядка, скорой помощи и т.п.).

Затраты на обеспечение качественных контейнерных перевозок в модели эквиваленты их эксплуатационным затратам, тогда как удовлетворение спроса на перевозки повышенного качества автомобильным и железнодорожным транспортом требует дополнительных затрат (Блок III-2 для железнодорожного транспорта и аналогичный по структуре Блок III-3 – для автомобильного). Увеличение себестоимости автомобильных и железнодорожных перевозок приводит как к снижению спроса на них (Блок I), так и к снижению спроса на качественные перевозки, поскольку в этом случае складские затраты транспортных клиентов могут стать меньше транспортных издержек (Блок IV).

Увеличение себестоимости перевозок приводит к снижению объемов промышленного производства в регионе, сокращению спроса на перевозки. Сохранение такой тенденции в перспективе способствует уменьшению транспортных тарифов, что через определенный период моделирования приведет к последующему росту объемов производства и спроса на транспортные услуги. Для моде-

лирования влияния транспортных затрат на объемы промышленного производства в регионе использовались зависимости, представленные в работе [6].

Анализ результатов экспериментов с построенной моделью позволил сделать следующие выводы:

- введение в моделируемую систему сети контейнерных терминалов с ориентацией контейнерных перевозок на удовлетворение потребностей транспортных клиентов в перевозках повышенного качества позволяет достичь равновесного состояния модели в течение 7,5 лет, тогда как для существующих условий такое состояние достигается через 12,3 года;
- амплитуда колебаний параметров модели, таких, например, как себестоимость перевозок при формировании в регионе сети контейнерных терминалов, уменьшается на 23%;
- оптимизация размещения контейнерных терминалов на железнодорожных станциях региона позволяет достичь равновесного состояния модели в течение 3,8 лет модельного времени при сокращении суммарных транспортно-складских издержек в системе на 21%.

Таким образом, общим выводом проведенных экспериментов с разработанной моделью, учитывающих влияние выбранного множества факторов, является вывод об эффективности формирования региональных сетей контейнерных терминалов.

#### Список литературы

1. Гусейнов Р.Р. Технично-экономическое обоснование сфер эффективного применения железнодорожных станций, обслуживающих контейнерный терминал // Наука и техника транспорта, 2014. №4. С.108-109.
2. Кириллова А.Г. Методология организации контейнерных и контейнерных перевозок в мультимодальных автомобильно-железнодорожных сообщениях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / МАДИ. М.: МАДИ, 2011. 49 с.
3. Копылова О.А., Рахмангулов А.Н. Применение метода системной динамики для исследования факторов размещения элементов транспортно-логистической инфраструктуры // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2012. №2. С.92-97.
4. Рахмангулов А.Н., Копылова О.А. Оценка социально-экономического потенциала региона для размещения объектов логистической инфраструктуры // Экономика региона. 2014. №2. С. 254-263.
5. Рахмангулов А.Н., Копылова О.А., Аутов Е.К. Выбор мест для логистических мощностей // Мир транспорта. 2012. №1(30). С.84-91.
6. Рахмангулов А.Н., Копылова О.А., Мишкуров П.Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 300 с.

Д.А. Лисовский

## ПАРАМЕТРЫ И ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ОТ ЗАВОДОВ-ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ ДО РЕГИОНАЛЬНЫХ ДИЛЕРОВ

**Аннотация.** *Выполнен анализ и предложены показатели системы доставки легковых автомобилей от заводов-изготовителей до региональных дилеров. Выбранная система показателей позволит снизить суммарные логистические затраты, при условии обеспечения требуемого качества доставки автомобилей, с помощью применения математического аппарата теории нечетких множеств.*

**Ключевые слова:** *автомобильный рынок России, система доставки, показатели, перевозочные технологии, теория нечетких множеств.*

В настоящее время в России наблюдается рост численности автомобильных транспортных средств. Парк автомобильной техники на 1 января 2015 года насчитывал порядка 50,5 млн ед., на долю легковых автомобилей приходится около 80%. За последние 10 лет численность транспортных средств увеличилась более чем на 45%. Основное увеличение происходит за счёт легковых автомобилей: по сравнению с 2004 годом, их количество выросло на 62,7%, или на 14,9 млн ед. [1].

Исследования показывают, что автомобильный парк в России разнообразный и представлен всеми марками и моделями. Структура автопарка выглядит следующим образом [1]: на долю отечественных марок приходится до 30% от общей численности транспортных средств, иностранные марки российского производства составляют 43%, иностранные марки импортного производства – 25%, импорт поддержанных автомобилей 5%. В структуре автопарка доля иномарок российского производства преобладает над иномарками импортного производства. Это связано, в первую очередь, с тем, что импорт постепенно замещается локальным производством.

В настоящее время на территории Российской Федерации насчитывается 26 автозаводов по производству легковых автомобилей, расположенных в 14 городах, преимущественно в европейской части России, а также свыше 4,2 тысячи дилерских центров всех автопроизводителей, официально представленных на рынке [6]. Рост объемов локализации автомобильных заводов иностранных марок и увеличение численности транспортных средств в стране, развитие покупательской способности населения привело к проблемам, связанным с транспортировкой автомобилей от производителя до потребителя [1,2,8,9]:

- недостаточно транспортных компаний на рынке перевозок автомобилей;
- недостаточно эффективно используются логистические системы доставки;
- высокие затраты на перевозки автомобилей от заводов до дилерских центров;
- неразвитая инфраструктура перевозок (пропускная способность дорог, загруженность автомагистралей, качество дорог, плотность сети автомобильных дорог);

- неразвитая сеть железных и автодорог;
- географические и климатические особенности России.

В связи с территориальной особенностью нашей страны и неравномерной плотностью транспортных сетей используются различные схемы и системы доставки автомобилей в дилерские центры. Наиболее распространены системы с использованием автовозов, состоящих из автомобилей-тягачей и специальных прицепов (полуприцепов); железнодорожным транспортом в специализированных крытых вагонах-автомобилевозах («сетках»), а также с использованием контейнеров. На долю автовозов приходится до 90% перевозимого объема транспортных средств. Основными факторами их выбора являются [2] доставка до места назначения, качество и короткие сроки.

Анализ научных работ [2,4] и результат работы дилерских центров показал, что выбор перевозчика и системы доставки автомобилей определяется, как правило, количественными характеристиками объектов поставки, дальностью перевозки, сроком доставки и стоимостью перевозки. С другой стороны, ГОСТ Р 51005-96 «Услуги транспортные. Грузовые перевозки. Номенклатура показателей качества» устанавливает требования к качественным характеристикам оказания транспортных услуг. Таким образом, разнообразие методов и способов оценки [2,4,7,9,10], отсутствие единой системы показателей доставки, а также различная природа самих показателей создают сложности и затрудняют выбор наиболее эффективной и качественной системы доставки автомобилей.

Предлагается систему доставки легковых автомобилей оценивать системой показателей, представленной на рисунке. Они разделены на две группы: стоимостные показатели и показатели качества доставки.

<b>Стоимость перевозки</b>	Расходы на выполнение погрузо-разгрузочных или перегрузочных операций	Подъездные железнодорожные пути	<b>Качество доставки</b>	Сохранность	Без потерь
		Наличие терминала			Без повреждений
		Транспортная доступность			Без пропажи
	Расстояние перевозки	Без загрязнений			
	Расходы на перемещение автомобилей	Количество отправок		Своевременность	Перевозка груза к назначенному сроку
		Тип перевозочной технологии			Регулярность прибытия груза
		Срок доставки			Срочность перевозки груза
	Дополнительные расходы, связанные с потерей и повреждениями автомобилей	Сохранность перевозки по каждому типу перевозочной технологии			

Показатели системы доставки легковых автомобилей от заводов-изготовителей до региональных дилеров

Для оценки системы доставки грузов используются различные методы оценок, например, такие, как анкетные опросы, экспертные оценки, статистические методы и т.д. Сложность заключается в том, что по большинству показателей, относящихся к экономическим, эксплуатационным, информационным, невозможно получить объективные, количественные оценки. Вследствие этого соответствующим инструментом для оценки системы доставки автомобилей предлагается использовать математический аппарат, основанный на теории нечетких множеств [10].

#### Список литературы

1. Лисовский Д.А. Проблемы организации доставки легковых автомобилей по территории РФ // Молодежь. Наука. Будущее. 2015.
2. Нечаева М.Н. Организация перевозки легковых автомобилей в контейнерах повышенной вместимости на основе логистических принципов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. М., 2014. 181 с.
3. Официальный сайт аналитического агентства «АВТОСТАТ» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.autostat.ru/news/view/15770/>
4. Бабурин В.А., Бабурин Н.В. Оптимизация параметров логистической системы доставки грузов // Журнал университета водных коммуникаций. Вып. 1. С.121-126.
5. Импорт машин падает в восемь раз быстрее продаж [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rbcdaily.ru/industry/562949991416232>
6. Количество дилеров в стране [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.autostat.ru/catalog/product/163/>.
7. Транспортная логистика: учеб. пособие / Гавришев С.Е., Дудкин Е.П., Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Н., Трофимов С.В. СПб.: ПГУПС, 2003. 279 с.
8. Копылова О.А., Рахмангулов А.Н. Проблемы выбора места размещения логистических центров // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2011. №1. С.58–67.
9. Копылова О.А., Осинцев Н.А., Несват К.К. Учет показателей аварийности при развитии транспортной инфраструктуры в регионе // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. №4. С.58-66.
10. Транспортная логистика: учебник для транспортных вузов / под общ. ред. Л.Б. Миротина. М.: Экзамен, 2002. 512 с.



А.М. Мажитов, С.А. Корнеев, Б.Н. Клебан

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД КАМАГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ОЦЕНКА ИХ УДАРООПАСНОСТИ

**Аннотация.** В работе проведены исследования, которые включают в себя: определение характеристик хрупкости и упругости руд и основных разновидностей вмещающих пород Камаганского месторождения, исследование напряженности пород массива, оценку влияния природных и техногенных концентраторов, возникающих на участках массива. На основании этих исследований, с использованием представленной документации, составлено заключение о склонности месторождения к горным ударам и проведено геодинамическое районирование месторождения.

**Ключевые слова:** скальный массив, горная порода, удароопасность, геодинамическое районирование.

Камаганское месторождение располагается в северо-восточной части Сибайского рудного поля, в 2,5 км к северу от Ново-Сибайского месторождения.

Нарушенность скального массива Камаганского месторождения обусловлена его расположением в северной части Сибайской брахиантиклинали и приуроченностью к Восточно-Сибайской тектонической зоне [1], которая представляет собой мощную зону объёмного дробления горных пород. Рудные тела залегают в пределах локальной купольной структуры. В результате складкообразовательных процессов именно в таких элементах антиклинали происходит наиболее интенсивная разрядка тектонических напряжений, создающая зоны дробления и повышенной трещиноватости как во вмещающих породах, так и в рудных телах [2,3].

Проведенные исследования включали оценку геодинамического районирования месторождения, определение склонности его пород и руд к горным ударам, рассмотрение материалов керновых геологических скважин, математическое моделирование напряженного состояния при разработке месторождения с учетом горно-геологических условий, натурные замеры напряжений.

Определение механических характеристик пород производилось по стандартным методикам [4, 5] на образцах пород правильной цилиндрической формы (ГОСТ 21153.2-84). Сущность методов заключается в измерении максимальной разрушающей силы, приложенной к торцам образца для определения предела прочности на сжатие и к образующим образца – для предела прочности на растяжение. По результатам испытания образцов составлены паспорта прочности горных пород, которые позволяют оценить условия разрушения пород не только в одноосном, но также в плоском и объемном напряженных состояниях.

Параллельно с испытанием образцов на прочность были замерены их продольные деформации при сжимающих нагрузках. Целью испытаний является получение хрупкоупругих характеристик при нагружении образцов. В соответствии с принятыми в настоящее время критериями, склонными к горным ударам, считаются горные породы, у которых отношение упругих деформаций к полным при нагрузках 80% от предельных достигает или превышает 70%.

При критерии удароопасности более 0,7 порода и руда считаются склонными к горным ударам, то есть обладают высокой упругостью, способностью накапливать значительный запас энергии упругого сжатия и хрупко реализовывать ее при определенных условиях в форме горного удара. Для визуализации процесса деформирования были построены диаграммы деформирования, где виден характер процесса (рис. 1).

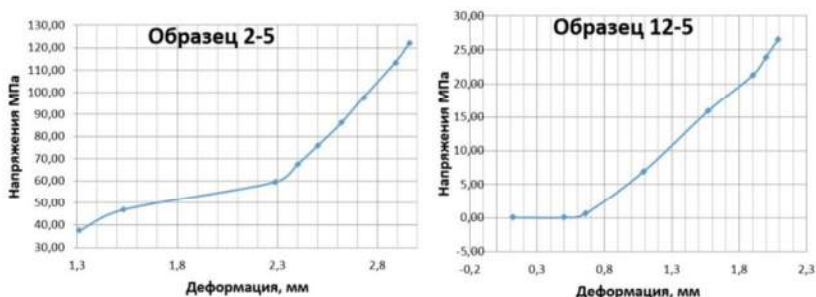


Рис. 1. Диаграммы деформирования горных пород

Для соблюдения условий отнесения месторождения к удароопасным [5] было проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива при отработке рудных тел.

Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива при отработке западной залежи Камаганского месторождения показало, что максимальные сжимающие напряжения достигают 32 МПа и, соответственно, составляют до 40% от прочности основных разновидностей пород, склонных по горным ударам (рис. 2). То есть уровень напряжений не достигает 80%, при которых следует относить месторождение к склонным по горным ударам.

Оценка напряженного состояния массива пород в районе, затронутом горными работами, проведена путем натуральных замеров напряжений в подземных выработках Камаганского рудника методом щелевой разгрузки. При предваряющем замеры напряжений обследовании выработок горизонтов 150, 160 и 180 м Камаганского рудника установлена высокая степень разупрочнения приконтактного к выработкам массива, что не позволило увеличить количество точек замеров. Нарушение связи пород на контурах выработок с горным массивом обусловлено наличием ярко выраженной структурной нарушенности подстилающих рудную залежь пород и, очевидно, величиной действующего горного давления.

Анализ результатов замеров в массиве указывает на выраженную неоднородность поля действующих напряжений. Очевидно, невысокие значения напряжений обусловлены невозможностью проведения замеров непосредственно в призабойной зоне по причине интенсивной трещиноватости горного массива, отслоения структурных блоков пород в приконтактной зоне выработок.

Инструментальные исследования напряженного состояния массива показали, что вследствие значительной тектонической нарушенности горного массива, а также недостаточных для накопления упругой энергии значений деформационных характеристик руд и пород проявления горного давления в форме горных ударов в пределах глубины горного отвода не ожидаются.

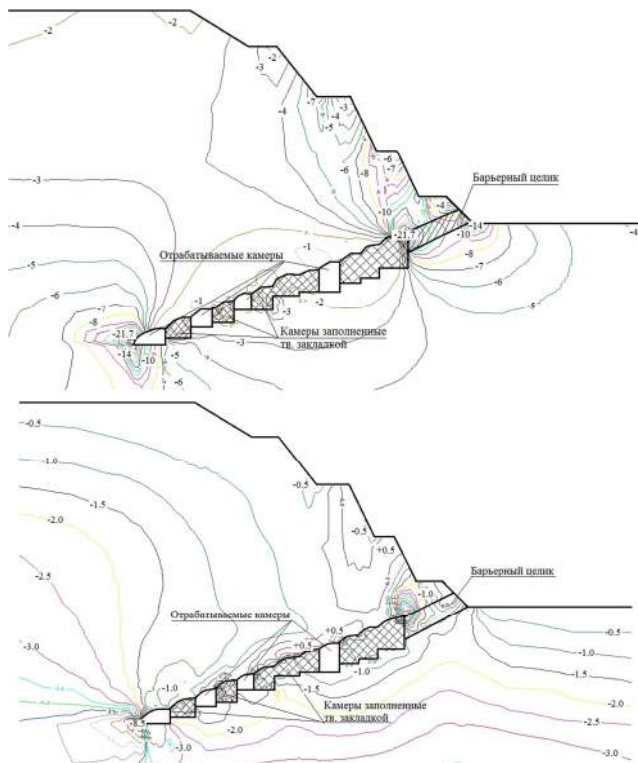


Рис. 2. Изолинии главных нормальных напряжений Камаганского месторождения

На основании проведенных исследований установлено следующее:

Полученные при испытании образцов пород Камаганского месторождения характеристики хрупкости и упругости позволили выявить породы, склонные по горным ударам, переходные породы от склонных к несклонным по горным ударам и несклонные к горным ударам.

2. По результатам геодинамического районирования Камаганское месторождение относится к потенциально удароопасным. При вскрытии и подготовке месторождения активных тектонических нарушений, способных привести к горно-тектоническим ударам, не выявлено. Вскрывающие выработки пройдены вне зон разломов.

3. Естественное поле напряжений массива горных пород в районе месторождения имеет тектоническую природу. По параметрам поле напряжений схоже с расположенным южнее Гайским месторождением, имеющим общий генезис образования. Соотношение главных напряжений принято как  $\sigma_1:\sigma_2:\sigma_3 = 1:0,55:0,5$ , при широтном горизонтальном направлении составляющей  $\sigma_1$ , меридиональном горизонтальном направлении  $\sigma_3$ , и вертикальном направлении  $\sigma_2$ .

4. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива при отработке западной залежи Камаганского месторождения показало, что максимальные сжимающие напряжения достигают 32 МПа и, соответственно, составляют до 40% от прочности основных разновидностей пород, склонных по горным ударам. То есть уровень напряжений не достигает 80%, при которых следует относить месторождение к склонным по горным ударам.

5. Инструментальные исследования напряженного состояния массива показали, что вследствие значительной тектонической нарушенности горного массива, а также недостаточных для накопления упругой энергии значений деформационных характеристик руд и пород проявления горного давления в форме горных ударов в пределах глубины горного отвода не ожидаются.

6. Проведенные шахтные исследования с помощью метода прогноза удароопасности по параметрам акустической эмиссии показали, что массив находится в условиях естественной напряженности, характерной для исследуемых глубин.

7. Анализ материалов кернового бурения указывает, что диски (плашки) начинают появляться с глубины 654 м (скважина К-434). При углублении выемочных работ ниже 650 м можно ожидать роста напряжений более 80 % от прочности склонных к динамическим проявлениям пород и руд.

#### Список литературы

1. Технологический регламент «Доработка Камаганского месторождения подземным способом» / ОАО «Уралмеханобр». Екатеринбург, 2007.
2. Выбор рационального варианта доработки рудного тела №12 Камаганского месторождения подземным способом / Хазеев Р.С., Корнеев С.А., Мажитов А.М., Корнеева В.С., Малова А.Н. // Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых: сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 98-105.
3. Корнеев С.А., Корнеева В.С., Клебан Б.Н. Проектные решения по доработке рудных тел № 3, 5 Камаганского месторождения подземным способом // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т.1. С. 35-38.
4. Горные породы. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии: ГОСТ 21153.2-84.
5. Горные породы. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении: ГОСТ 21153.3-85.
6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» / Постановление Госгортехнадзора России от 13.05.2003 № 30. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.12.2013. № 599.

С.О. Картунова, Е.А. Романько, Л.Н. Бортновская

## ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПОДОТВАЛЬНОЕ» ГОП ОАО «ММК»

**Аннотация.** Статья посвящена противооползневым мероприятиям для условий месторождения «Подотвальное».

**Ключевые слова:** карьер, оползень, деформация, нагорная канава, выполаживание.

Изучение деформаций бортов карьеров и откосов отвалов является актуальной горнотехнической задачей, выявление причин которых, разработка и реализация противооползневых мероприятий позволяет осуществлять планомерную и безаварийную работу горнодобывающего предприятия [2-5].

В августе 2011 г. на северо-восточном борту карьера «Подотвальное» появились многочисленные трещины, верхний слой почвы вспучило, породы оторвало от основного горного массива и началось сползание пород. Оползнем был охвачен участок по высоте 70 м и по длине 600 м. Результирующий угол откоса борта в районе оползня составлял на момент возникновения оползня 14–27°. На рис. 1 представлены фотографии оползня на момент появления трещин на карьерной дороге (рис. 1, а) и его реализации (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Оползень:

а – начало деформирования массива; б – реализация деформации

Верхний комплекс пород месторождения «Подотвальное» представлен техногенными отложениями, которые были образованы в результате складирования вскрышных пород железорудных карьеров ОАО «ММК». Техногенные отложения, представленные разрушенными скальными породами и суглинками, мощностью 40 м в районе северо-восточного борта карьера отсыпаны слоями толщиной 0,3–0,4 м с углом слоистости 37°. Отвалы возводились на рыхлых породах мощностью 15–20 м, представленных корой выветривания и делювиальными глинами. Геология оползня показана на рис. 2.

В конце августа 2011 г. при появлении трещин в отметках 470–420 м на северо-восточном борту согласно требованиям [1] была заложена наблюдательная станция. Постоянные рабочие реперы (маяки) заложены по линиям, перпендикулярным к простиранию борта карьера в предельном положении. Тахеометрическая съемка произведена электронным тахеометром Sokkia с репера 0605, расположенного на противоположном борту карьера, за пределами зоны сдвижения. В качестве исходного использован репер 0608, находящийся за пределами зоны сдвижения, и его положение оставалось неизменно в течение всего времени производства наблюдений.

Изучение геологических условий и возможных причин оползневого явления на месторождении производилось в работах [2, 3].

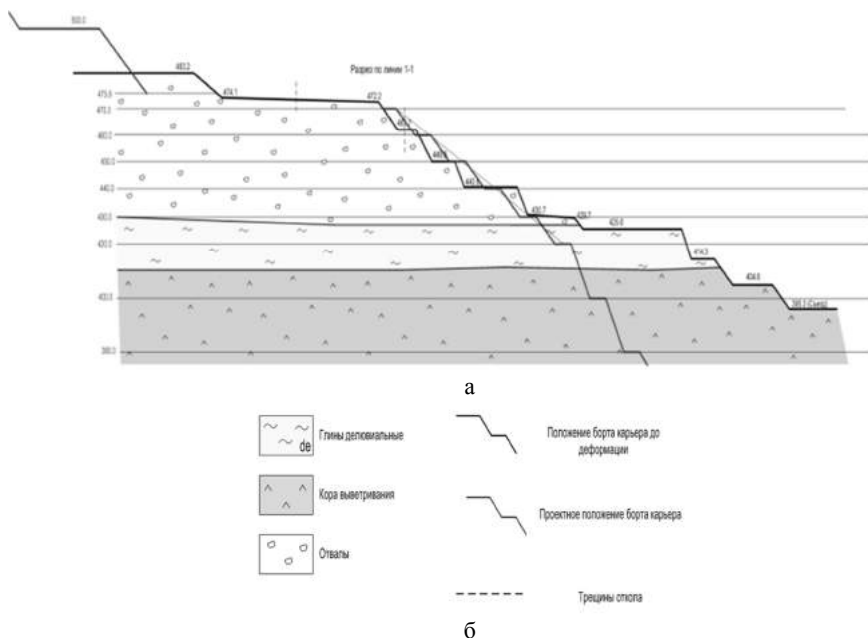


Рис. 2. Строение оползня: а – геологический разрез; б – условные обозначения

Изучение района оползня и последующий мониторинг за оползневым процессом показал, что причинами возникновения деформации оказались следующие факторы:

- техногенные отложения, складированные на почвенном слое и мягких глинистых породах, под воздействием паводковых вод привели к реализации оползневого процесса;
- в силу рельефа, созданного при складировании техногенных отложений, высота уступа гор. 460 м была завышена до 13 м, в связи с чем вынуждено сформирован откос борта карьера с углом  $60^0$ , что привело к неустойчивому состоянию прибортового массива;

- грунтовые, родниковые и паводковые воды, скапливающиеся по ложкам, попадали под техногенные отложения на слой глинистых пород. Что привело к насыщению техногенных пород водой, увеличению нагрузки на глинистые слои и возникновению поверхности скольжения по глине, выполняющей роль водопорного слоя. Межпластовые воды действовали подобно смазке и облегчали скольжение;

- в рабочем проекте устойчивость бортов карьера определена без учета нагрузки от последующего формирования на северном борту двух отвалов «Северный» рыхлых пород и «Скальный»;

- проведение массовых взрывов, постоянное встряхивание горного массива создало предпосылки к оползневым явлениям.

Установленные причины привели к смещению блоков породы объёмом около 1,5 млн м<sup>3</sup>, в которых присутствовали как рыхлые, слабосцементированные, так и прослои и линзы из прочных скальных пород. При этом порода частично раздробилась, превращаясь в брекчиевидную бесструктурную массу. Оползень северо-восточного борта месторождения «Подотвальное» по признаку свободного скольжения (по А.П. Павлову) относится к детрузивным, т.е. оползень «толкает» перед своим нижним концом пластичные горные породы, деформируя их. Оползень привел к значительному материальному ущербу: пришлось частично остановить выполнение горных работ в северном и северо-восточном направлениях в пределах гор. 420–450 м.

Для продолжения ведения горных работ возникла необходимость устранения оползня в пределах фронта ведения горных работ. На месторождении разработаны мероприятия по устранению оползня. Как показала практика, наиболее эффективными методами борьбы с оползнями являются разгрузка оползневого участка и проведение дренажных работ.

В зависимости от того, какие воды – поверхностные или подземные – являются причиной деформаций, предлагается формирование гидросооружения – водоотводной канавы соответственно на поверхности или отметке выхода грунтовых вод. Схема устройства нагорных канав и дренажей представлена на рис. 3. Кроме того, осушение массива можно осуществить с помощью вертикальных или горизонтальных водоотводных скважин.

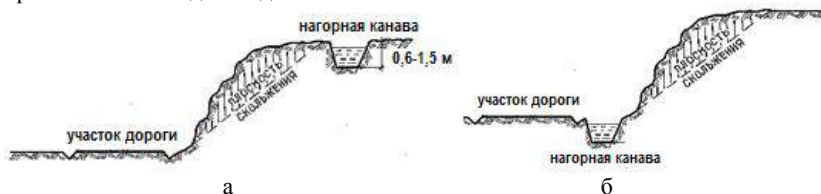


Рис. 3. Сооружение водоотводной канавы для дренажа:  
а – для отвода поверхностных вод; б – для отвода подземных вод

Разгрузку оползневых склонов (откосов) рекомендовано производить с помощью террасирования склонов, как представлено на рис. 4.



Рис. 4. Схема устройства террас для разгрузки оползневых склонов

Эффективны при борьбе с оползнями и работы по выполаживанию откосов так, чтобы угол деформированного откоса соответствовал значению угла естественного откоса для данных грунтов. Выполаживание склона целесообразно как профилактическое мероприятие при наличии неактивизировавшегося оползня. Целесообразность выполаживания склона определяется объемом земляных работ и характером грунтов.

Таким образом, для условий месторождения «Подотвальное» ГОП ОАО «ММК» необходимыми мероприятиями для ликвидации оползня являются выполаживание его поверхности с помощью наклонных съездов с последующим осушением нагорными канавами. Предлагаемые мероприятия могут быть рекомендованы к применению для месторождений с аналогичными горно-геологическими и гидрогеологическими условиями.

#### Список литературы

1. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Утв. Госгортехнадзором СССР 21.07.1970. М., 1970. 120 с.
2. Анализ геологических особенностей месторождения «Подотвальное» / Горбатова Е.А., Колесатова О.С., Картунова С.О., Тулубаева М.Ф. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 1. С. 22-27.
3. Картунова С.О. Мониторинг оползневого участка северо-восточного борта месторождения «Подотвальное» // Рациональное природопользование: сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. С.40-46.
4. Маркшейдерский мониторинг деформаций бортов карьера Сибайского месторождения / Емельяненко Е.А., Романько Е.А. Савченко Е.В., Янбердина А.Б. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т.1. С. 42-44.
5. Романько Е.А., Шакиров А.А. Разработка мероприятий по обеспечению устойчивости внутреннего отвала на месторождении Малый Куйбас ГОП ОАО «ММК» // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых / под ред. В.Н. Захарова. М.: ИПКОН РАН, 2013. С.74-77.



**П.С. Симонов, Е.П. Кашапова, Е.А. Лисенков**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА УДАРОМ ПАДАЮЩЕГО ГРУЗА**

**Аннотация.** Предложены методы определения энергоемкости разрушения бетонных блоков однократными и многократными ударами. Установлен эталонный удельный расход взрывчатого вещества для бетонных конструкций разной прочности.

**Ключевые слова:** взрыв, удар, удельный расход ВВ, демонтаж бетонных конструкций и фундаментов, энергоемкость разрушения бетона.

Демонтаж отслуживших свой срок бетонных конструкций и фундаментов наиболее эффективно осуществлять с помощью взрывных работ, отличающихся быстротой и минимальными затратами труда и средств.

При взрывном способе разрушения в бетонном блоке по определенной сетке бурятся шпурсы, в них размещаются заряды взрывчатых веществ (ВВ). Расчет зарядов взрывчатых веществ осуществляется на основе удельного расхода ВВ, величина которого для бетонных и железобетонных конструкций установлена лишь ориентировочно в пределах от 0,35 до 0,8 кг/м<sup>3</sup> [1, 2]. Между тем очевидно, что взрывающиеся бетонные конструкции и фундаменты отличаются разнообразием как по марке (классу) бетона используемого при их строительстве, так и по срокам и условиям эксплуатации. В процессе эксплуатации бетонные объекты подвергаются статическим, динамическим, температурным и другим воздействиям, в результате которых происходит их деформация и накопление дефектов структуры, снижающих прочностные характеристики конструкции.

Таким образом, для установления рационального удельного расхода ВВ необходимо оценивать энергоемкость разрушения взрывающихся массивов, в зависимости от их прочностных, упругих, пластических и реологических свойств.

В лабораторных условиях проведено исследование энергоемкости разрушения бетонных блоков различного состава размером 50×50×50 мм многократными ударами на приборе определения крепости падающим грузом массой 2,4 кг с высоты 0,5 м. Количество ударов изменялось от 5 до 50.

Для изготовления бетонных блоков использовался цемент ПЦ-400-Д20 ЦЕМ II/A-Ш 32,5Н ГОСТ 31108-2003 Магнитогорского цементно-огнеупорного завода, кварцевый песок крупностью до 1,0 мм и щебень крупностью от 2,5 до 5 мм. Были испытаны 3 партии образцов.

После изготовления все бетонные блоки выдерживались не менее 28 сут. После набора прочности образцы шлифовались, для придания параллельности граням бетонного кубика, измерялись в трех направлениях и взвешивались на электронных весах. Качество изготовленных образцов контролировалось плотностью бетона, коэффициент вариации плотности для каждой партии не превышал 3%.

Предел прочности на сжатие бетонных кубиков и цементного камня определялся на гидравлическом прессе ПГМ-1000МГ4. Установлено, что с увеличением содержания наполнителя предел прочности бетона при сжатии снижается:

1 партия – 27,3±4,3 МПа; 2 партия – 13,1±2,9 МПа; 3 партия – 10,4±2,5 МПа.

После разрушения образцов производился ситовой анализ дробленого продукта на ситах с отверстиями размером 20; 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5 и 0,25 мм, крупные куски взвешивались отдельно.

По результатам ситового анализа определялись средний размер куска после разрушения ( $d_{ср}$ , м) и удельная вновь образованная поверхность ( $\Delta S_V$ ,  $m^2/m^3$ ).

Экспериментально получена зависимость удельной вновь образованной поверхности ( $\Delta S_V$ ) от объемной энергоёмкости разрушения ( $Q_V$ ) для различных по прочности бетонных блоков (рис. 1).

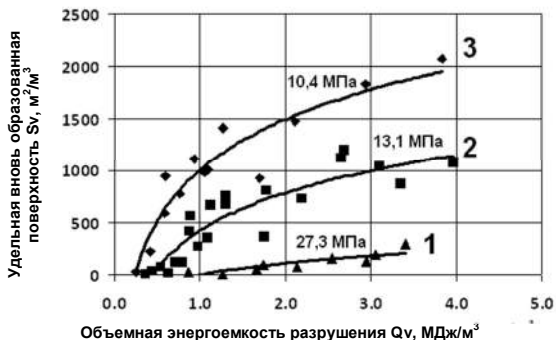


Рис. 1. Зависимость удельной вновь образованной поверхности от объемной энергоёмкости разрушения: 1–3 – номер партии бетонных блоков

Энергоёмкость разрушения цементных блоков определялась многократными ударами на приборе определения крепости по методике, представленной выше (4 партия), и дополнительно однократным ударом на вертикальном копре с грузом массой 10 кг и высотой падения от 0,1 до 0,8 м (5 партия, образцы размером 30×30×30 мм).

Экспериментально получена зависимость удельной вновь образованной поверхности ( $\Delta S_V$ ) от объемной энергоёмкости разрушения ( $Q_V$ ) для цементных блоков с пределом прочности при сжатии  $34,7 \pm 3,8$  МПа (рис. 2).

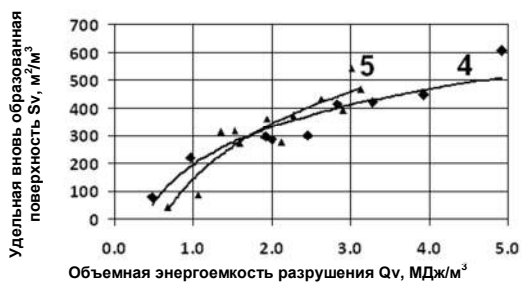


Рис. 2. Зависимость удельной вновь образованной поверхности от объемной энергоёмкости разрушения: 4-5 – номер партии цементных блоков

Сравнение объемной энергоемкости разрушения, полученной методами многократных и однократных ударов при  $Q_v \leq 5,0$  кДж/м<sup>3</sup>, показывает их сопоставимость и взаимозаменяемость. Поэтому выбор метода для определения энергоемкости разрушения зависит от размеров испытываемых образцов и требуемой удельной вновь образованной поверхности или требуемой степени дробления.

В зависимости от требуемой удельной вновь образованной поверхности устанавливается оптимальное значение объемной энергоемкости разрушения ( $Q_{\text{вонт}}$ , МДж/м<sup>3</sup>) и затем эталонный удельный расход ВВ по зависимости

$$q_a = \frac{Q_{\text{вонт}}}{E_{\text{ВВ}}} \cdot K_{\text{ид.теп}} \cdot K_{\text{х.п}}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{ВВ}}$  – теплота взрыва применяемого ВВ, для аммонита 6 ЖВ  $E_{\text{ВВ}} = 4,3$  МДж/кг;  $K_{\text{ид.теп}}$  – коэффициент, учитывающий затраты тепла на идеальные тепловые потери;  $K_{\text{х.п}}$  – коэффициент, учитывающий затраты тепла на химические потери.

Для расчета коэффициента, учитывающего затраты тепла на идеальные тепловые потери, обычно используют зависимость [3, 4]:

$$K_{\text{ид.теп}} = \left[ 1 - \left( \frac{V_{\text{н}}}{V_{\text{к}}} \right)^{k-1} \right]^{-1} = \left[ 1 - \left( \frac{p_{\text{к}}}{p_{\text{н}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{н}}$ ,  $V_{\text{к}}$  – начальный и конечный объемы продуктов взрыва;  $k$  – показатель политропы;  $p_{\text{н}}$  – начальное давление продуктов взрыва;  $p_{\text{к}}$  – конечное давление продуктов взрыва, когда они, расширившись, совершили полную работу.

Коэффициент, учитывающий затраты тепла на химические потери [5, 6]:

$$K_{\text{х.п}} = \left( \frac{d_{\text{зар}}}{d_{\text{зар}} - 2\alpha d_{\text{кр}}} \right)^2, \quad (3)$$

где  $d_{\text{зар}}$  – диаметр заряда ВВ;  $\alpha$  – коэффициент, для насыпных и прессованных ВВ  $\alpha \approx 0,4$ ; для литых  $\alpha \approx 0,055$ ;  $d_{\text{кр}}$  – критический диаметр заряда ВВ.

Для аммонита 6ЖВ в зарядах диаметром 32 мм ( $K_{\text{ид.теп}} = 1,22$ ;  $K_{\text{х.п}} = 1,31$ ) зависимость эталонного удельного расхода ВВ от предела прочности при сжатии бетонных блоков, определенная исходя из оптимальной объемной энергоемкости разрушения, в первом приближении аппроксимируется уравнением

$$q_a = 0,02 \cdot \sigma_{\text{сж}} - 0,07, \quad (4)$$

где  $\sigma_{\text{сж}}$  – предел прочности бетона при сжатии, МПа,  $\sigma_{\text{сж}} = 10 \div 40$  МПа.

#### Список литературы

1. Нормативный справочник по буровзрывным работам / Ф.А. Авдеев, В.Л. Барон, Н.В. Гуров, В.Х. Кантор. М.: Недра, 1986. 511 с.

2. Эткин М.Б., Азаркович А.Е. Взрывные работы в энергетическом и промышленном строительстве. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 317 с.
3. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1988. 358 с.
4. Угольников В.К., Симонов П.С. Определение переводных коэффициентов при расчете эквивалентных зарядов дробления // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №4. С.14-17.
5. Симонов П.С. Оценка содержания углерода (сажи) в продуктах взрыва // Добыча, обработка и применение природного камня. Вып. 11: сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2011. С.158-166.
6. Взрывное дело / С.А. Ловля, Б.Л. Каплан, В.В. Майоров и др. М.: Недра, 1976. 272 с.

УДК 622.35

**Н.Г. Караулов, И.А. Пыгалев, Е.С. Ахременко,  
М.П. Овсянников, А.В. Зинуров**

### **СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ПОДГОТОВКУ БЛОКОВ К ВЫЕМКЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО УЧАСТКА НИЖНЕ-САНАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГРАНОДИОРИТОВ**

***Аннотация.** В статье исследованы особенности применения алмазно-канатных пил при разработке центрального участка Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов. Рассмотрены условия выбора способа отделения блоков от массива в зависимости от характера трещиноватости, а также причины востребованности на рынке строительных материалов продукции ООО «Санарский гранит». С учетом сложившихся экономических условий предложены рекомендации по корректировке проектных решений, а именно увеличение высоты уступа и применение буроклинового способа для пассировки блоков.*

***Ключевые слова:** уступ, блок, гранит, месторождение, карьер, алмазно-канатная машина.*

Доля нашей страны в мировой добыче блоков не превышает 1%, хотя по запасам и многообразию облицовочного камня Россия занимает ведущие позиции в мире [1]. Увеличение объемов добычи облицовочного камня требует вовлечения в разработку новых месторождений с использованием всех возможностей современного оборудования. Добычные горные машины с гибким режущим инструментом к настоящему времени на каменных карьерах всего мира получили доминирующее положение [2]. При этом многие карьеры, разрабатывающие крупные месторождения, на данный момент находятся на стадии доработки или близки к ней [3, 4].

На современном этапе развития отечественной и зарубежной науки и техники месторождения твердых полезных ископаемых разрабатываются в основном способами физико-технической геотехнологии: открытым, подземным и комбинированным [5, 6]. Практически все строительные материалы в России добывают открытым способом [7].

В Уральском федеральном округе Нижнее-Санарское месторождение является уникальным по цветовой гамме, и гранодиориты относятся ко 2-му классу декоративности горных пород – декоративным. Проектом на разработку помимо добычи облицовочного камня предусмотрена попутная добыча строительного камня, разведанного до глубины отметки +182 м от поверхности [8, 9].

Порядок отработки карьера принят, исходя из горно-геологических условий проектного участка, физико-механических свойств разрабатываемых пород [10].

Технология разработки месторождения следующая: удаление пород вскрыши экскаватором и добыча полезного ископаемого с помощью установок алмазно-канатного пиления и буроклинового способа.

Исследованиями установлено, что для «пластовых» месторождений в наибольшей степени условию минимизации себестоимости удовлетворяет шпуровой способ отделения камня с использованием механических клиньев.

Не все месторождения магматических горных пород имеют «пластовое» залегание полезного ископаемого и наличие горизонтальных или близких к горизонтальным трещины разрыва. Именно к таким месторождениям относится Нижне-Санарское, и оно характеризуется сложным горно-геологическим залеганием полезного ископаемого.

Результаты анализа [11] и опыт ведущих отечественных и зарубежных предприятий свидетельствуют о том, что на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями залегания наименьшая себестоимость подготовки камня к выемке и максимально возможный выход товарных блоков достигается за счет использования высокоуступной двухстадийной схемы отработки массива.

Таким образом, на месторождениях гранитов в качестве основного способа добычи принимается выпиливание природного камня из массива с помощью алмазно-канатных установок. Выемка, погрузка и транспортировка блоков до склада готовой продукции производится автосамосвалом и колесным погрузчиком в комплексе с кантователем блоков, вилами, ковшем.

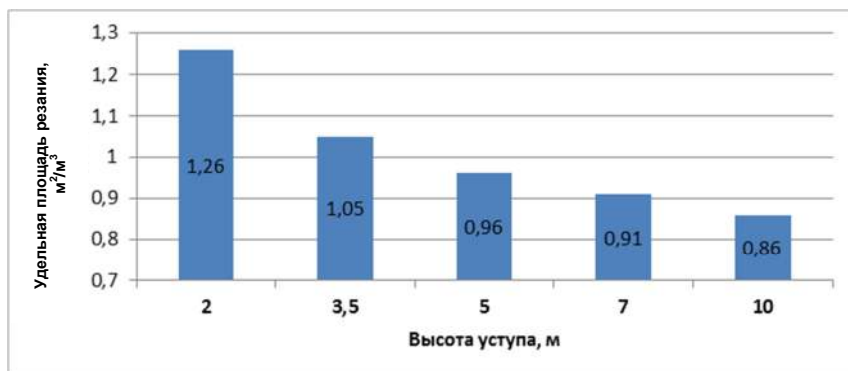
В настоящее время в связи с изменением цен на импортные расходные материалы возникла необходимость поиска путей снижения эксплуатационных затрат на подготовку блоков к выемке. С целью снижения удельных затрат на отделение монолитов от массива рекомендуется вдвоить рабочие уступы и увеличить высоту уступа с 3,5 до 7 м. Снижение удельных затрат на отделение блоков от массива будет достигнуто за счет уменьшения удельной площади резания. Удельная площадь резания по плоскостям отделения монолита от массива алмазно-канатной машиной находится из выражения,  $\text{м}^2/\text{м}^3$

$$S^{кп} = \frac{1}{L_m} + \frac{1}{B_m} + \frac{1}{H_m},$$

где  $L_m, B_m, H_m$  – соответственно длина, ширина и высота отделяемого монолита.

Расчетное значение изменения удельной площади резания по плоскостям отделения монолита от высоты уступа представлено на рисунке.

По результатам, представленным на рисунке, можно отметить, что при увеличении высоты уступа с 3,5 до 7 м значение удельной площади обнажения уменьшится с 1,05 до 0,91  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .



Изменение удельной площади резания при увеличении высоты уступа (длина монолита 10 м, ширина монолита 1,5 м)

Наряду с увеличением высоты уступа целесообразным вариантом с экономической точки зрения будет применение алмазно-канатного способа исключительно для отделения монолитов от массива с последующей разделкой на товарные блоки буроклиновым способом, поскольку в настоящее время на карьере пассивировка отделенного от массива монолита алмазным канатом экономически нецелесообразна в связи с существенным увеличением стоимости импортного оборудования и расходных материалов к нему. Необходимо отметить, что повышение высоты уступа до 7 м обеспечит не только снижение удельных затрат на отделение монолитов от массива, но и увеличение выхода товарных блоков.

#### Список литературы

1. Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Караулов Г.А. Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2003. 103 с.
2. Влияние режимов работы канатных пил на себестоимость отделения монолитов камня от массива породы / Г.Д. Першин, С.А. Голяк, Н.Г. Караулов, М.С. Уляков, И.С. Сорокин, Р.Ф. Иштакбаев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11. С. 350-354.
3. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Кидяев В.А. Использование преимуществ карьерного комбинированного транспорта при открыто-подземной разработке месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №3. С. 25-28.
4. Изменение способа вскрытия карьера на различных этапах отработки крутопадающих месторождений / Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Колонюк А.А., Кидяев В.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 8. С. 225-228.
5. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А. Формирование и освоение техногенных георесурсов. Определение параметров карьеров и отвалов. Магнитогорск, 2011.

6. Изыскание эффективных вариантов отработки железорудных месторождений Бакальского рудного поля / Корнилов С.Н., Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Петрова О.В., Пыталев И.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 1. С. 5-10.
7. Гавришев С.Е., Грязнов М.В., Рахмангулов А.Н. Повышение эффективности добычи нерудных строительных материалов с использованием логистического подхода // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2002. № 7. С. 33-37.
8. Разработка Центрального участка Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов: Проектная документация. Челябинск, 2012.
9. Волков М.Ф. Отчет о детальной разведке гранодиоритов Нижне-Санарского месторождения в Троицком районе Челябинской области в 1958 г. / Институт «Оргэнергострой». Куйбышев, 1959.
10. Отчет о результатах оценочных и разведочных работ на Центральном участке Нижне-Санарского месторождения облицовочных гранодиоритов в Троицком районе Челябинской области с подсчетом запасов по состоянию на 01.10.2006 г. Челябинск, 2006.
11. Техничко-экономическое обоснование технологии добычи природного камня высокой прочности / Е.Г. Пшеничная, Е.А. Горбатова, Н.Г. Караулов, М.С. Уляков // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. / под ред. Першина Г.Д. Магнитогорск, 2012. С. 4-18.

УДК 552.313.1; 553.532

**В.Х. Пергамент, Н.Г. Караулов, С.И. Головей, Д.Р. Кусяков**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ БАЗАЛЬТОВЫХ ЛАВ НА МАЛЫХ УКЛОНАХ**

**Аннотация.** На основе приведенных (Кукал З., Шабер Г.) численных величин скоростей движений базальтовых лав с  $t=1200^{\circ}\text{C}$  на пологих склонах в регионах Гавайских островов и плато Колумбия-Ривер получены степенные приближения зависимостей этих скоростей от мощности ( $m=10...30\text{ м}$ ) при ламинарном и турбулентном режимах движений.

Для обоих регионов отмечена единообразная связь скоростей ламинарных и турбулентных потоков одинаковой мощности (глубины).

Полученные соотношения могут быть полезны для оценок влияния отдельных факторов на особенности и характеристики разнорежимных потоков при вулканических извержениях и в промышленности каменного литья.

**Ключевые слова:** базальтовая лава, извержение, вязкость, мощность потоков, порода.

Магма (греч. – месиво, густая мазь) представляет собой природный, чаще всего силикатный, огненно-жидкий расплав, возникающий в коре или в верхней мантии и при остывании, дающий магматические горные породы. Магматические породы образовались непосредственно из магмы (расплавленной массы преиму-

щественно силикатного состава) в результате ее охлаждения и застывания. В зависимости от условий застывания различают интрузивные (глубинные) и эффузивные (излившиеся) горные породы.

Магматические горные породы характеризуются входящими в их состав минералами (полевошпат, кварц, слюда и др.) [4]. К глубинным горным породам относятся: сиениты, диориты, габброиды, лабрадориты, и др., к излившимся: диабазы, порфириды, базальты, липариты и др. Магматические горные породы разрабатываются для получения природного камня высокой прочности [5, 6].

Скорости движения лав ( $V$ ) при извержениях варьируют в широких пределах в зависимости от вязкости ( $\eta$ ), плотности ( $\rho$ ), мощности ( $m$ ) потоков, угла ( $\alpha$ ) уклона и характера трассы склонов, расстояния ( $r$ ) до источника истечения, площади ( $S$ ) поперечного сечения и режима движения потока [ламинарного ( $L$ ) или турбулентного ( $T$ )].

Наибольшие скорости  $V=65$  км/ч растекания лав отмечены [3] при извержении на острове Суртсей (близ Исландии) и при истечении из лавового озера африканского вулкана Ньяирагонго ( $V=60$  км/ч) [8], где за 1 ч изливалось до 20–22 млн м<sup>3</sup> низковязких лав.

На Гавайских островах в моменты кульминаций излияний лав вулкана Мауна-Лоа отмечены скорости движения лавовых потоков от 0,3 до 3 км/ч; на пологом склоне вулкана Килауэа (1955 г.) также фиксировались скорости движения лавового потока более 0,3 км/ч (т.е. 7,2 км/сут). А при извержениях на островах, соседних с островом Суртсей, скорости лав были значительно меньше, составляя всего 3–8 м/сут (0,125–0,33 м/ч).

При большом трещинном Толбачинском извержении (БТТИ) на Камчатке в 1972 г. отмечены [1] следующие скорости лавовых потоков на Северном прорыве для первого потока из южной бочки первого конуса:

- 29.07.1975 г. –  $V=120-180$  м/ч, замедляясь до 100 м/ч, при мощности потока 5–6 м на склоне с  $\alpha=5-7^{\circ}$ ;

- 30.07.1975 г. –  $V=40$  м/ч при «эффективной вязкости»  $\eta_{эф}=20 \cdot 10^6$  Пз при  $\alpha=5^{\circ}$  и  $m=6$  м;

- 31.07.1975 г. –  $V=25$  м/ч (при этом на удалении 4,5 км от места истечения выпарено озеро площадью  $15 \times 20$  м, бывшее единственным источником питьевой воды для исследователей).

В [1] приведена также выборка оценок изменения «эффективной вязкости» лавовых потоков 1-го конуса Северного прорыва (СП) БТТИ 1975 г.:

- 30.7, 3.8 на южной бочке –  $\eta_{эф}=10 \cdot 10^6$  и  $23,8 \cdot 10^6$  Пз;

- 31.7, 2.8 и 3.8 на северной бочке –  $\eta_{эф}=20 \cdot 10^6$ ,  $3 \cdot 10^6$  и  $(1 \dots 2) \cdot 10^6$  Пз.

То есть в течение 2–3 суток вязкость потока южной бочки увеличилась примерно в 2,5 раза, в то время как для лавы северной боки отмечено уменьшение вязкости почти на порядок.

Как показано Ю.Б. Слезиным [2], поведение лавы отображается реологической моделью Бингама, где «эффективная вязкость» выражается через бингамовскую ( $\eta_B$ ) и предел текучести:  $\eta_{эф} = \eta_B / (1 - \tau_0 / \tau_{max})^2$  при максимальном напряжении  $\tau_{max}$  в потоке. В полевых условиях «эффективная вязкость» потока оце-



нивается из соотношения, применяемого для плоского слоя жидкости, движущейся под действием силы тяжести по наклонной плоскости:

$$\eta = \rho \cdot g \cdot m^2 \cdot \sin \alpha / (3 \cdot \bar{V}); \quad (1)$$

$$\eta = \rho \cdot g \cdot m^2 \cdot \sin \alpha / (2 \cdot V_{\max}), \quad (1 \text{ а})$$

где  $\rho$  – плотность лавы;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $m$  – мощность (толщина) потока;  $\alpha$  – угол наклона подстилающей поверхности, в области  $\alpha < 30^\circ$  допустимо приближение  $\sin \alpha = \alpha / 60$ , если  $\alpha$  берётся в градусах;  $\bar{V}$  и  $V_{\max}$  – соответственно средняя (по поперечному сечению) и максимальная (на поверхности) скорости потока.

У Кукала З. [3, с. 55–56] со ссылкой на Шабера Г. (Schaber G.) [8], цитированного в публикации [9], приведена выборка данных о скоростях ламинарных ( $V_L$ ) и турбулентных ( $V_T$ ) базальтовых потоков разной мощности ( $m=10..30$  м) с температурой лав  $1200^\circ\text{C}$  на пологих ( $\alpha=0,01^0$ ) склонах вулканов Гавайских островов и плато Колумбия-Ривер (США). Эти данные [3] сведены в таблицу, где в числителе и знаменателе приведены результаты соответственно при ламинарном и турбулентном типах потоков.

Зависимость скорости течения от мощности разнотипных потоков лав

Базальтовые лавы (при $t=1200^\circ\text{C}$ ) регионов	Скорость лавы ( $V$ , км/ч) для ламинарных (числитель) и турбулентных (знаменатель) потоков различной мощности $m$		
	$m=10$ м	$m=20$ м	$m=30$ м
Гавайи (Г)	13,6/7,4	54,4/13,3	122,4/18,3
Плато Колумбия-Ривер (США), древние базальты (К-Р)	6,2/6,2	26,1/11,2	59,0/15,9

Связи с мощностью ( $m=10..30$  м) значений скоростей ( $V_L$  и  $V_T$ , км/ч) ламинарного (Л) и турбулентного (Т) течений лав на Гавайях (Г) и плато Колумбия-Ривер (К-Р) отображаются степенными приближениями:

$$V_L^{(Г)} = 13,6 \cdot (m/10)^2 = (0,37 \cdot m)^2 = 0,136 \cdot m^2; \quad (2)$$

$$V_T^{(Г)} = 7,4 \cdot (m/10)^{0,833} = (1,1 \cdot m)^{0,833} \approx (3,2 \cdot \sqrt{V_L^{(Г)}})^{0,833}; \quad (2 \text{ а})$$

$$V_L^{(К-Р)} = 6,45 \cdot (m/10)^2 = (0,254 \cdot m)^2 = 0,0645 \cdot m^2; \quad (3)$$

$$V_T^{(К-Р)} = 6,2 \cdot (m/10)^{0,833} = (0,89 \cdot m)^{0,833} \approx (3,5 \cdot \sqrt{V_L^{(К-Р)}})^{0,833}. \quad (3 \text{ а})$$

Для обоих регионов при заданной мощности ( $m$ ) турбулентного потока в прогнозе скорости его движения возможно использование усреднённого (из ф-л (2а) и (3а) соотношения, учитывающего скорость ламинарного потока ( $V_L$ ) такой же мощности ( $m$ ):

$$V_T^{Г,К-Р} \approx \left[ (3,25 \pm 0,25) \cdot (V_L)^{1/2} \right]^{0,833} \approx (3,25 \cdot V_L^{1/2})^{0,833}. \quad (4)$$

При этом, как в соотношениях (1) и (1а), скорость ламинарного потока оказывается пропорциональной квадрату его глубины (мощности).

Как видно из формул (2)–(4), для турбулентных потоков показатель степени при  $m$  значительно (в 2,4 раза) меньше, чем при ламинарном режиме, составляя в обоих регионах  $n_T = 0,833$ .

Стоит отметить, что Шабер Г. [8], цитируемый в [3, с. 178] со ссылкой на [9], и Френч Б. [7], также упомянутый в [3], получили для Луны почти в 4 раза более высокие, чем на Земле, значения скоростей лавовых потоков. Это увеличение скорости лав объяснялось большей крутизной склонов, а при таких же, как на Гавайских островах углах склонов, для ламинарных потоков лав на Луне с  $t=1200^0\text{C}$  и мощностью  $m=10$  м Шабер Г. приводит оценку скорости  $V_{\text{л}}^{\text{Лун.}} \approx 20 \text{ км/ч}$ , что лишь в 1,5 раза превышает скорость ламинарных потоков базальтовых лав на Гавайских островах при таких же уклонах и мощностях потоков, соответствуя значению  $K_m^{\text{л}} = \sqrt{1,5} = 1,225$ .

Приведённые соотношения могут быть использованы как базовые при оценках влияния изменения различных факторов (температуры, вязкости и типов лав, характера основания, типов течений и мощности потоков) для вулканических извержений и в промышленности каменного литья.

#### Список литературы

1. Большое Трещинное Толбачинское Извержение. Камчатка 1975–1976 г. / отв. ред. С.А. Федотов. М.: Наука, 1984. 638 с.
2. Слезин Ю.Б. Геология и динамика лавовых потоков // Вулканология и сейсмология. 1981. №4. С. 74–86.
3. Кукал З. Скорость геологических процессов. М.: Мир, 1987. 246 с.
4. Першин Г.Д., Уляков М.С. Обоснование способов подготовки к выемке блочного природного камня высокой прочности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 4. С. 14–19.
5. Технично-экономическое обоснование технологии добычи природного камня высокой прочности / Е.Г. Пшеничная, Е.А. Горбатова, Н.Г. Караулов и др. // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012.
6. Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Уляков М.С. The research of high-strength dimension stone mining technological schemes in Russia and abroad // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 11. № 2. С. 64–73.
7. French B.M. 1977. The Moon book. Pp. 1-287. Penguin books, Harmondsworth.
8. Schaber G.G. 1976. Lava flows in Mare Imbrium. Geologic evaluation from Apollo orbital photography. Proc. 4th Lunar Conf., Suppl. 4, Geochim. Cosmochim. Acta 1; 73–92.
9. Yoder H.S. 1976. Generation of basaltic magma. Pp. 1-264, Nat. Acad. Sci., Washington.

Ю.А. Фаткабаров, Е.А. Емельяненко, Е.В. Мальцева

## ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА ХАЙДАРКАНСКОМ ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ

**Аннотация.** Рассмотрена история эксплуатации уникального месторождения киноварной ртути. Приведена оценка горнотехнических условий, особенно сти ведения подземных горных работ. Описана методика и технология производства маркшейдерских работ на месторождении.

**Ключевые слова:** первичная ртуть, оруденение, рудные гнезда, камеры, опорные целики, съемочные работы, опорные пункты, сдвигение массива.

Хайдаркан – богатейшее месторождение ртутной руды, антимонита и флюорита в Средней Азии. Осваивается с 1941 года, хотя история добычи киновари и производства ртути в Кыргызстане уходит вглубь веков. В настоящее время Хайдарканское ртутное акционерное общество (ХРАО) является единственным производителем первичной ртути в мире. Уникальность месторождения требует особых подходов ведения геологоразведочных, горных и маркшейдерских работ.

Цель работы – изучение горнотехнических условий и способов ведения горных и маркшейдерских работ на Хайдарканском руднике.

Хайдарканское рудное поле в геолого-структурном отношении расположено в центральной части Южно-Ферганского ртутно-сурьмяного пояса в пределах Хайдаркан-Карадаванской антиклинали. Перспективные структуры рудного поля вытянуты в широтном направлении вдоль Ишме-Тауского хребта. Хайдарканское ртутно-сурьмяно-флюоритовое месторождение находится в Кадамжайском районе Баткенской области и слагает северный борт долины, вытянутый с востока на запад на расстояние более 12 км (рис 1, 2) [1].



Рис. 1. Физико-географическое положение Хайдарканского месторождения

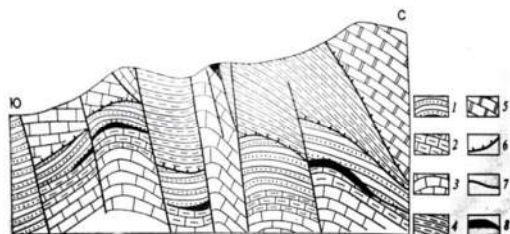


Рис. 2. Геологический разрез Хайдарканского месторождения:

- 1 – глинистые сланцы, песчаники, кремнистые породы ( $C_2$ ); 2 – известняки ( $C_{1,2}$ );  
 3 – известняки массивные ( $C_1$ ); 4 – сланцы, песчаники, кварциты ( $S_2-D_1$ );  
 5 – массивные и грубослоистые известняки ( $S_2$ ); 6 – надвиги;  
 7 – разрывные нарушения; 8 – залежи рудоносных джаспероидов

Главные минералы руд – киноварь, кварц и кальцит, реже встречаются антимонит, барит, флюорит. На участке «Плавиковая гора» развит флюорит. В зоне окисления месторождения встречается самородная ртуть, приуроченная к пустотам с самородной серой. В зонах крупных нарушений самородная ртуть наблюдается на глубине до 200 м от поверхности. В зоне окисления отмечается порошковая киноварь.

Запасы ртутных руд в пределах Южного, Главного и Промежуточного полей отработаны открытым способом. В настоящее время ртутные руды разрабатываются только подземным способом.

Рудные тела сравнительно небольшие и имеют очень сложную форму. Расположены среди вмещающих пород крайне неравномерно, что не позволяет полностью оценить запасы месторождения. В силу уникальности геологического строения, некоторые рудные тела возможно оконтурить только в процессе эксплуатации.

Особенность геологоразведочных работ на месторождении состоит в последовательности проведения работ. Поисковая разведка, предварительная буровая разведка, детальная буровая разведка для подсчета запасов по промышленным категориям  $C_1$  и  $C_2$  были проведены еще Хайдарканской ГРП МИНГЕО СССР и составляют приблизительно 13,9 тыс.т.

Однако на этой стадии разведки форма и размеры рудных тел и их пространственное размещение не устанавливается. Поэтому детальная горно-буровая доразведка участка и эксплуатационная разведка выполняются непосредственно на Хайдарканском подземном руднике в процессе подготовки и эксплуатации участков.

Сложность геологии месторождения обуславливает своеобразный характер подземных горных работ. Угол залегания оруденения изменяется от 0 до 50° и более, а мощность от 3-4 до 20–30 м. Горнотехнические условия разработки осложняются наличием участков, где запасы выходят непосредственно под неустойчивые перекрывающие породы, а также наличием ярко выраженной разрывной тектоники (см. рис. 2) [1,2].

В зависимости от характера оруденения, его размеров и пространственного расположения рудных залежей относительно основных вскрываемых выработок подготовка и очистная выемка на участках видоизменяются.

По взаимному расположению рудных участков и глубины их залегания на месторождении выделены участки 1 и 2 рудника №1, рудник №2 и рудник №3 с обособленным вскрытием. Основными вскрывающими выработками участка 1 рудника №1 являются штольни «Капитальная», штольня №32 и шахта «Восточная» с глубиной ствола 265 м. Основными вскрывающими выработками участка рудника №2 являются стволы «Новый» и №11 (используется в качестве запасного выхода и для выдачи отработанного воздуха используется ствол). Глубина «Нового» ствола 374 м. Главным вскрывающим выработку рудника №2 является ствол «Вспомогательный» в центральной части участка «Южная Плавиковая гора». Ствол имеет глубину 388 м. Разведочно-эксплуатационный ствол №16 предназначен для разведки участка «Южная Плавиковая гора». Ствол пройден на глубину 440 м. Основной ствол «Западный» рудника №3 заложен на восточном фланге месторождения. Глубина ствола 380 м.

Особенность освоения месторождения состоит в следующем:

- рудные включения очень малых размеров разрабатывают небольшими камерами неправильной формы;
- рудные гнезда сравнительно небольших размеров (горизонтальное сечение 200–300 м<sup>2</sup>) вынимают камерами без оставления опорных целиков.
- отработка рудных гнезд средних или значительных размеров с неустойчивой кровлей производится камерами с оставлением опорных целиков.

Если рудное тело расположено на уровне основного горизонта, то по почве остаточных выработок проходят породную рассечку. Для уточнения размеров рудного тела – рудный восстающий до вышележащего горизонта. После проведения вскрывающих выработок, наряду с эксплуатацией, осуществляется разведка.

Подготовительные работы заключаются в проходке штрека, блокового восстающего, рудоспуска с погрузочной камерой. Очистные работы начинаются после проходки разрезного восстающего и подсечного штрека на всю ширину камеры и ведутся по восстанию слоями 2,5–3 м. Целики оставляются регулярно и нерегулярно по мере отработки камеры. Шпурсы бурятся из разрезного восстающего.

Основными системами разработки являются камерно-столбовая и с магазином руды (рис. 3) [2,3].

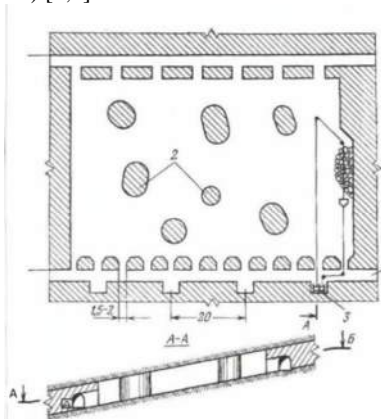


Рис. 3. Система разработки Хайдарканского месторождения

Многолетние наблюдения и экспериментальные исследования, проведенные в условиях рудников месторождения позволили разработать методики ведения буровзрывных работ, учитывающие геологические особенности участков взрывания и напряженно-деформированное состояние массива в проходческом забое. Установлено, что в одних случаях оно ухудшает условия эффективного разрушения массива, в других, наоборот, выступает как фактор, способствующий повышению эффективности буровзрывных работ в проходческом забое.

Маркшейдерские работы производятся в соответствии с проектами производства маркшейдерских работ [4]. Съёмочные работы выполняются в основном с применением оптических приборов: теодолит Т30, нивелир НЗК и рулетки. На поверхности и в подземных горных выработках заложены пункты опорной и съёмочной сетей.

Маркшейдерские работы, производимые в шахте, сводятся к перенесению геометрических элементов проекта в натуру, контроль за соблюдением и определением объемов выполненных работ, составлению графической документации, ее пополнению, контролю за сдвижением массива горных пород, учету потерь и планированию горных работ.

По мнению специалистов Хайдарканского комбината, моноргутных руд хватит еще на 5-7 лет. Освоение других запасов руд требует больших капиталовложений [5].

#### Список литературы

1. Геология металлических полезных ископаемых: учеб. пособие / Э.А. Высоцкий, В.Н. Губин, Г.И. Илькевич и др.; под общ. ред. Э.А. Высоцкого. Мн.: Тетра-Системс, 2006. 336 с.
2. Абдыкапаров Ч.М., Имаралиев А.И., Мамбетов Ш.А. Совершенствование горнопроходческих и очистных работ: монография. Бишкек: Изд-во Кыргызско-Российского славянского ун-та, 2007. 122 с.
3. Турецкий В.М. Подземная разработка месторождений с неравномерным ору-денением. М.: Недра, 1977. 160 с.
4. Колесатова О.С., Горбатова Е.А., Емельяненко Е.А. Подсчет объемов горных пород по результатам маркшейдерской съемки (на примере Среднеуральского месторождения) // Добыча, обработка и применение природного камня. Вып. 10: сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С.126-130.
5. Вейнбер Джек. Ртутное загрязнение – введение в проблему // Информационный буклет Международной организации по ликвидации СОЗ (IPEN). 2007.

Р.А. Хатуев, Н.А. Осинцев

## **ВЫБОР СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОНТЕЙНЕРАХ В АВТОМОБИЛЬНО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ СООБЩЕНИИ**

**Аннотация.** *Выполнен анализ контейнерных перевозок и выявлены причины низкой контейнеризации в России. Предложены комплекс показателей оценки системы доставки грузов в универсальных контейнерах и алгоритм выбора системы доставки грузов в железнодорожно-автомобильном сообщении, основанный на использовании метода учета безубыточности и обеспечения целевой прибыли.*

**Ключевые слова:** *груз, контейнерные перевозки, унимодальное сообщение, мультимодальное сообщение, система доставки, показатели качества, точка безубыточности.*

В условиях рыночной экономики и увеличения объемов грузовых перевозок повышаются требования к качеству перевозки груза. На первый план выходит использование современных технологий, позволяющих обеспечить своевременность и сохранность перевозки груза. Одним из таких способов является контейнерная система доставки. Применение контейнеров эффективно на отдельных видах транспорта, но более эффективно их использование в мультимодальной системе в качестве интермодальной технологии [1]. Однако исследования показывают, что уровень контейнеризации в России составляет около 30% и заметно уступает показателям ведущих зарубежных стран (например, в Китае и США уровень контейнеризации составляет около 70% [2,4]).

Вопросы повышения уровня контейнерных перевозок отражены в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, где одной из важных задач является повышение уровня контейнеризации как во внутреннем, так и в международном сообщениях. Однако в настоящее время процесс доставки грузов в контейнерах по территории Российской Федерации характеризуется низкой конкурентоспособностью [2]. Основная доля перевозок контейнеров во внутреннем сообщении приходится на железнодорожный транспорт и составляет около 70%, а на автомобильные перевозки приходится около 20% [3,5].

Исследование научных работ [2,3,6,7] показали, что существует множество факторов, сдерживающих рост контейнеризации отечественных перевозок в России. Основными причинами являются как финансово-экономические (последствие мирового финансового кризиса 2009 года, а также нынешнее политическое и экономическое положение в стране, высокая стоимость оснащения терминалов и аренды складов, недостаточно привлекательная тарифная политика и отсутствие единой тарифной политики на автомобильном транспорте), так и организационно-технические факторы (отсутствие развитой логистической сети операторов и неразвитость сервиса «от двери до двери», низкая скорость перевозки, большой порожний пробег, задержки из-за долгих таможенных процедур, недостаток качественных терминалов, различные инфраструктурные ограничения).

В таких условиях выбор системы доставки, видов транспорта и последовательности их использования при перевозке грузов в контейнерах по территории Российской Федерации приобретают особую актуальность. Поэтому вопросы, связанные с организацией доставки грузов в контейнерах в железнодорожно-автомобильном сообщении, являются актуальными научно-практическими задачами.

В работе предлагается рассматривать 6 вариантов доставки контейнеров в автомобильно-железнодорожном сообщении (рис. 1): унимодальные перевозки железнодорожным или автомобильным транспортом; мультимодальные перевозки с различной длиной плеч и последовательностью использования железнодорожного и автомобильного видов транспорта.



Рис. 1. Варианты доставки контейнеров в автомобильно-железнодорожном сообщении

В основу оценки каждого варианта организации перевозок положен комплекс показателей, включающий: объем ( $Q$ ) отправляемой партии; расстояние перевозки каждым видом транспорта ( $S$ ); срок доставки груза ( $t_{с.д}$ ); время выполнения погрузочно-разгрузочных работ ( $t_{п.р}$ ); время выполнения терминальных операций ( $t_t$ ); показатели транспортной инфраструктуры ( $I$ ); переменные затраты ( $Z_{пер}$ ); постоянные затраты ( $Z_{пос}$ ).

Выбор варианта доставки груза основывается на использовании метода учета безубыточности и обеспечения целевой прибыли [8]. Определение объемов перевозки по разным системам доставки ( $Q_{i,j}$ ) осуществляется на основе оценки полных затрат ( $Z_{пол}$ ), выручки ( $B$ ) и прибыли ( $\Pi$ ), полученной от организации перевозки. На рис. 2 представлен график расчета точки безубыточности для контейнерных систем доставки.

На рис. 3 представлен алгоритм выбора системы доставки грузов в универсальных контейнерах в автомобильно-железнодорожном сообщении, состоящий из следующих основных действий: подготовка исходных данных по объему отправляемой партии и срокам доставки; оценка вариантов организации перевозок в унимодальном и мультимодальном железнодорожно-автомобильном сообщении; выбор системы доставки с наименьшими затратами.



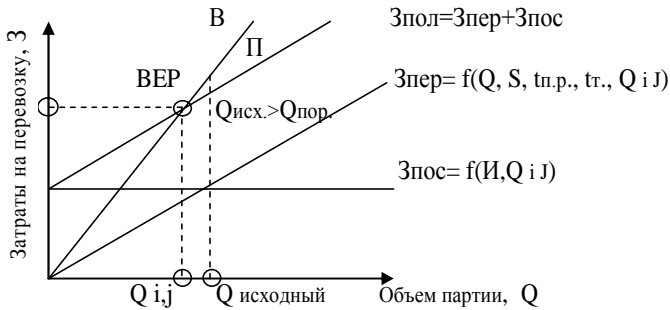


Рис. 2. График расчета точки безубыточности для контейнерных систем доставки

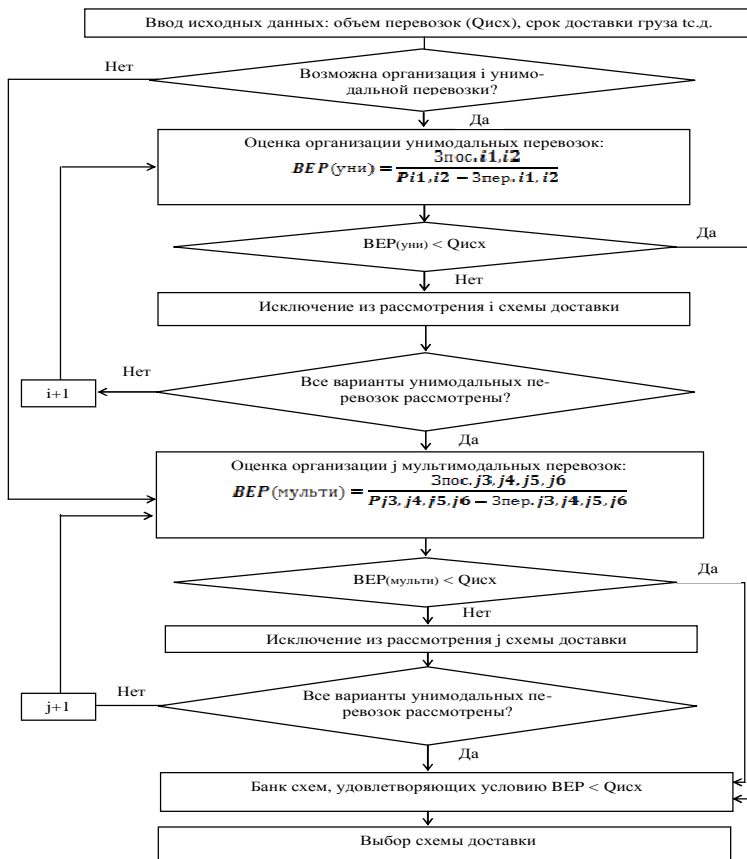


Рис. 3. Алгоритм выбора системы доставки грузов в универсальных контейнерах в автомобильном-железнодорожном сообщении

## Список литературы

1. Троицкая Н.А. Мультимодальные системы транспортировки и интермодальные технологии: учеб.пособие для студентов вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 336 с.
2. Корнилов С.Н., Самуйлов В.М., Фридрихсон О.В. Проблемы организации контейнерных перевозок по международным транспортным коридорам // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2012. №2. С.108-117.
3. Осинцев Н. А., Рахмангулов А. Н. Управление вагонопотоками в промышленных транспортных системах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2013. № 1 (41). С. 16–20.
4. Транспорт России «Тарифный консерватизм» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.transportrussia.ru>
5. Панишко Е.П. Анализ особенностей и динамики развития контейнерных перевозок грузов // Учебные записки Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. 2011.
6. Хегай Ю.А. Перспективы и проблемы развития рынка транспортно-логистических услуг // Теория и практика общественного развития. 2014. №4. С. 205-207.
7. Тебеньков С.А. Современное состояние и проблемы контейнеризации как приоритетного направления инновационного развития рынка грузовых перевозок // Транспортное дело России. 2009. С. 25-27.
8. Хмельницкий А.Д. Экономика и управление на грузовом автомобильном транспорте: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 256 с.

# ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛООБРАБОТКИ

---

---

УДК 672.1

Д.В. Горкуша, О.А. Комолова, К.В. Григорович

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ КЛАССА IF ДЛЯ УСЛОВИЙ ОАО «ММК»

**Аннотация.** Проведен анализ технологии выплавки и внепечной обработки IF-стали на ОАО «ММК». Отобраны пробы металла по всей технологической цепочке. Проведены исследования отобранных проб металла на содержание углерода, азота, серы, кислорода, неметаллических включений и их типов. Изучено влияние технологических операций на содержание углерода и азота в металле.

**Ключевые слова:** анализ технологии, IF-стали, исследование металлов на содержание углерода, азота, кислорода серы, неметаллических включений.

В настоящее время большое количество металлических деталей при производстве бытовой техники и кузова легкового автомобиля получают из тонкого стального листа методами штамповки и глубокой вытяжки без нагрева. Основные требования к листовым сталям для глубокой вытяжки – высокая прочность, деформируемость и высокое качество поверхности изделий. Данным требованиям удовлетворяют IF-стали, достижение свойств в которых определяется как требованиями по химическому составу – сверхнизкими содержаниями углерода, азота, низкими содержаниями примесей цветных металлов ( $C < 0,03\%$ ,  $Cu < 0,03\%$ ), кремния ( $Si < 0,2\%$ ), серы ( $S < 0,01\%$ ), так и требованиям к качеству листа. Лучшие зарубежные производители стабильно получают в IF-сталях сверхнизкие концентрации углерода ( $C \leq 0,002$ ) и азота ( $N \leq 0,002$ ). Одним из важных критериев качества стали является также чистота по неметаллическим включениям. В настоящее время технологии, которые используются на российских металлургических предприятиях, не позволяют стабильно получать низкие содержания углерода и азота в конечном продукте.

Выбор марок сталей, которые используются в кузове современного автомобиля, осуществляется на основе норм безопасности, эксплуатационных характеристик и экономических критериев для каждой отдельной детали. Для обеспечения прочности кузова используется ВН-эффект – повышение прочности стали при горячей сушке [1]. Увеличение прочности достигается за счет процесса закрепления растворенных свободных атомов углерода на дислокациях в процессе низкотемпературного отжига. Сложность технологии производства стали класса ВН заключается в том, что необходимо обеспечить заданное низкое содержание азота и углерода в металле ( $[N] < 0,0015\%$ ,  $[C] < 0,0030\%$ ).

При производстве IF-, ВН-сталей необходимо обеспечить удаление азота из металла до заданных значений и не допустить попадания его из внешней среды, так как

избыточное содержание азота в стали приводит к возникновению концентраторов напряжения [2]. При условии обеспечения низкого содержания азота в металле, ВН-эффект обеспечивается за счет содержания растворенного углерода [3, 4].

Стандартной технологией выплавки IF-стали в кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК» является выплавка полупродукта в кислородном конвертере (при выпуске из конвертера для раскисления, легирования и наведения шлака в ковш отдают алюминий, металлический марганец или ферромарганец, а также известь), далее металл рафинируют на циркуляционном вакууматоре и проводят микролегирование металла ниобием и титаном на агрегате «ковш-печь».

Для анализа технологии производства IF-стали было проанализировано более 60 паспортов плавов по всей технологической цепочке, начиная от конвертера и заканчивая разливкой металла. В зависимости от графика разливки и загруженности агрегатов технология производства одной и той же марки стали может отличаться от стандартной технологии. В общем виде все разнообразие технологических цепочек производства IF-стали можно представить двумя схемами:

- а) КК-УПК (УУПС)-УВС-УПК(УУПС)-МНЛЗ;
- б) КК-УВС-УПК(УУПС)-МНЛЗ.\*

По технологической схеме *a* производства IF-стали были отобраны и проанализированы пробы металла после каждой технологической операции, получены результаты по химическому составу проб металла, содержанию газов (N, O) и количеству неметаллических включений. Содержание неметаллических включений в металле было определено с помощью метода фракционного газового анализа. Метод фракционного газового анализа позволяет определить содержание кислорода в различных типах неметаллических включений, содержание кислорода в конкретном типе неметаллического включения эквивалентно объемной доли данного типа неметаллического включения в стали [5].

В результате анализа действующей технологии показано:

- Наименьшее содержание азота наблюдается после выплавки стали на кислородном конвертере, далее азот увеличивается при взаимодействии металла с дугами при электронагреве в ковше-печи (рис. 1). На этапе циркуляционного вакуумирования азот в стали не уменьшается, это говорит о недостаточной эффективности вакуум-углеродного раскисления. Азот немного снижается при вводе в сталь ферротитана, за счет удаления нитридов титана в шлак. На этапе разливки азот увеличивается, что говорит о неэффективности мероприятий по защите стали от вторичного окисления.
- Минимальное содержание углерода (25 ppm) достигается при обработке металла на циркуляционном вакууматоре, далее при вводе ферросплавов содержание углерода возрастает. Содержание углерода повышается ( $\approx 15$  ppm) на этапе разливки при взаимодействии металла со шлакообразующими смесями.
- Металл значительно загрязнен оксидными (рис. 2) и нитридными (рис. 3) неметаллическими включениями, что отрицательно влияет на качество готовой продукции.

---

\* КК – кислородный конвертер, УПК – установка печь-ковш, УУПС – установка усреднительной продувки стали, УВС – установка вакуумирования стали, МНЛЗ – машина непрерывного литья заготовок.

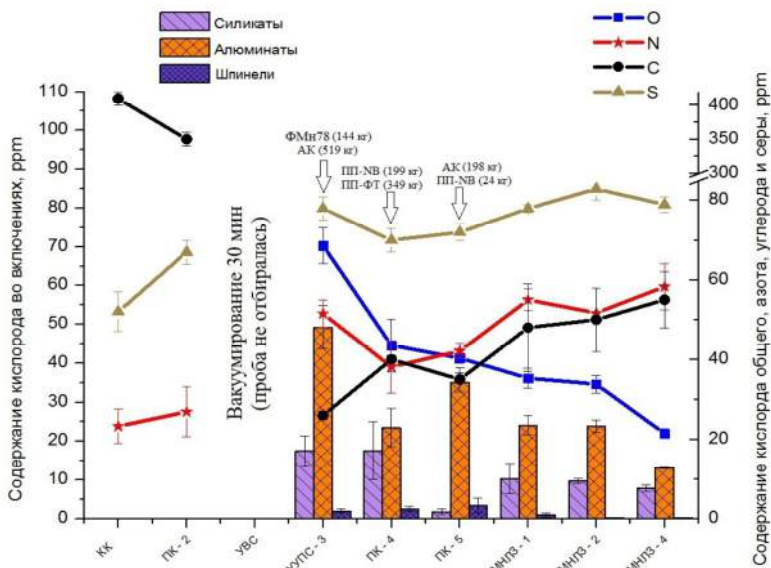


Рис. 1. Содержание кислорода в различных типах неметаллических включений, азота, углерода и серы в отобранных пробах металла, плавка 1 (Фмн78 – ферромарганец, АК – алюминиевая катанка, ПП-НВ – порошковая проволока феррониобия, ПП-ФТ – порошковая проволока ферротитана)

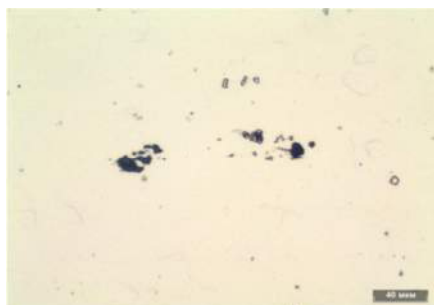


Рис. 2. Оксидные неметаллические включения в образце готовой стали



Рис. 3. Строчка нитридов в образце готовой стали

Для определения возможности проведения альтернативных вариантов раскисления с целью снижения содержания неметаллических включений в металле были выполнены термодинамические расчеты комплексного раскисления ИФ-стали. В качестве раскислителей были взяты: алюминий (по существующей технологии), алюминий и барий, алюминий и кальций. Проведенные расчеты показали, что использование барий- и кальцийсодержащих лигатур позволяет полу-

чить минимальное содержание кислорода в стали при оптимизации морфологии неметаллических включений.

Приведенный анализ показал, что технология производства IF-стали требует дальнейшей оптимизации.

#### Список литературы

1. P. Elsen and H. P. Hougardy. Steel Research, Vol. 64, 1993, pp. 431 – 436.
2. [William C. Leslie](#). The Physical Metallurgy of Steels. TechBooks, 1991, p. 396.
3. L.J. Baker, S.R. Daniel and J. D. Parker. Materials Science and Technology, Vol. 18, 2002, pp. 355 – 367.
4. Филлипов Г.А., Родионова И.Г. Пути повышения потребительских свойств сталей для автомобилестроения // Международный семинар «Современные достижения в металлургии производства сталей для автомобильной промышленности». 2006. С. 144-149.
5. Исследование структуры и металлургического качества рельсовых сталей разных производителей / К.В. Григорович, А.С. Трушников, А.М. Арсенкин, С.С. Шибяев, А.К. Гарбер // Металлы. 2006. №5. С. 1-16.

УДК 628. 344. 4

**Ю.С. Ляшева, О.А. Марочкин**

### **РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И СОЗДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СОРТОВОЙ МНЛЗ**

***Аннотация.** Рассмотрены процессы управления потоками металла в системе промежуточный ковш (ПК) – кристаллизатор сортовой МНЛЗ. Разработаны конструкции элементов ПК и кристаллизатора (К) сортовой МНЛЗ, которые обеспечивают рациональное прохождение разливаемого металла в системе ПК-К, что создает условия для эффективного отделения неметаллических включений и обеспечивает повышение качества разливаемой стали.*

***Ключевые слова:** МНЛЗ, промежуточный ковш, кристаллизатор, гильза.*

Создание, развитие и модернизация элементов сортовых МНЛЗ – важная задача современной металлургической промышленности, решение которой обеспечивает повышение производительности и качества выпускаемой продукции [1, 2]. ПК и его устройства, формирующие потоки течения металла в ковше и истечения, и кристаллизатор – важнейшие технологические элементы МНЛЗ [3, 4]. Разработано оборудование разливочного отверстия [5, 6] ПК (рис. 1). Другим важнейшим элементом системы ПК – К МНЛЗ является гильза К [7]. При производстве сортового проката в качестве исходной заготовки, в основном, применяют прямоугольную непрерывно-литую заготовку прямоугольного сечения. Производство этих заготовок на сортовых МНЛЗ имеет особенность – неравномерность скорости затвердевания металла в углах и в центре наружных поверхностей заго-

товки, что приводит к деформации её профиля [7]. Соответственно, при отходе одной из частей твердого каркаса заготовки в процессе затвердевания от поверхности гильзы кристаллизатора образуется газовый зазор, коэффициент теплопередачи [8] в котором значительно ниже, чем в зоне контакта корочки слитка и гильзы, из-за более низкой теплопроводности газа. При организации работы МНЛЗ происходит многократное применение защитного устройства 2 (рис. 2), при этом на его прилегающих плоскостях к внутренней поверхности гильзы кристаллизатора 1 происходит их износ.



Рис. 1. Установка оборудования разливочного отверстия в ПК сортовой МНЛЗ

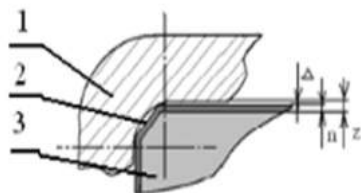


Рис. 2. Поперечное сечение гильзы кристаллизатора и головной части затравки

При большом износе плоскостей защитного устройства (ЗУ) создаются условия соприкосновения головной части 3 затравки, выполненной из стали, с внутренними поверхностями гильзы кристаллизатора 1, выполненной из меди либо меди с защитным покрытием. При контакте головной части затравки с внутренней поверхностью гильзы происходит задира, это приводит к преждевременному выходу из строя гильз и их отбраковки. Рассмотрим возможные последствия соприкосновения головной части затравки с внутренней поверхностью гильз в её угловой части при разных формах внутреннего угла гильз кристаллизатора. Для радиальной внутренней форм угла соприкосновение происходит по двум точкам, при этом возможно боковое смещение, при котором  $\Delta=0$ , это создает условия соприкосновения  $z=0$ , приводящие к интенсивному износу внутренней поверхности гильзы кристаллизатора. Для формы внутреннего угла в виде фаски и для выпуклой внутренней формы угла гильз кристаллизатора при  $z>0$  условие соприкосновения происходит только в угловых частях, соответственно, интенсивный износ на остальных плоскостях гильз не происходит. Причем для выпуклой внутренней формы угла гильз кристаллизатора зазор  $z \gg 0$ , это может привести к проходу жидкой стали, что приведет к повышению аварийности в работе МНЛЗ [1]. Из вышперечисленных угловых форм гильзовых кристаллизаторов наиболее рациональной формой является форма угла, выполненная в виде фаски. Для стабильной работы МНЛЗ при разливке стали была разработана конструкция гильзы кристаллизатора [9] (рис. 3), состоящего из металлического корпуса 4 [10] с торцевыми крышками 1 и 8, внутри которого при помощи крепежа 2 установлена

рубашка охлаждения 5, внутри неё установлена гильза 3. Места пересечения основных боковых плоскостей 6 гильзы 3 выполнены в виде угловых поверхностей 11, сечения каждой из которых, проведенные по перпендикуляру к оси 7 гильзы 3, выполнены в виде фаски. Причем угловые поверхности 12 снабжены продольными выемками 10, расположенными симметрично относительно продольных осей угловых поверхностей 11, проведенных через места пересечения угловых плоскостей 12 и плоскостей, проведенных через перпендикуляры, опущенные из центральной оси 7 кристаллизатора 3 на угловые поверхности. Продольные выемки выполнены в виде части окружности радиусом  $R1$ , равным  $0,01-0,015$  ширины боковой плоскости гильзы. Места пересечения поверхностей продольных выемок с боковыми и угловыми поверхностями гильзы выполнены в виде окружности радиусом  $R2$ , равным радиусу  $R1$  продольных выемок.

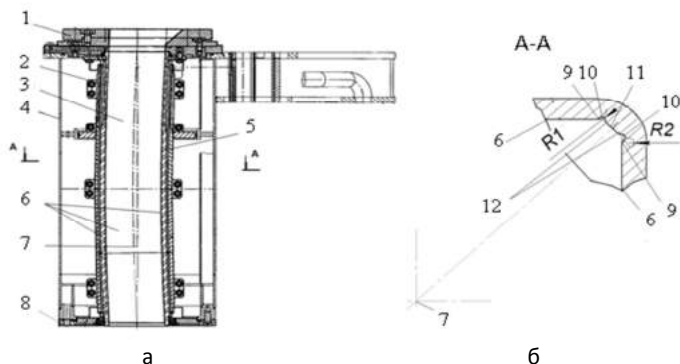


Рис. 3. Кристаллизатор: а – разрез кристаллизатора;  
б – поперечное сечение гильзы

#### Выводы:

1. Применение созданных огнеупорных изделий комплекта разливочного отверстия позволяет наряду с повышением их стойкости эффективно гасить возникающие над разливочными стаканами воронки, что обеспечит повышение качества разливаемого металла благодаря хорошей организации струи. Возрастает качество стали при разливке длинными сериями за счет уменьшения числа неметаллических включений, попадающих в кристаллизатор МНЛЗ.

2. Проведенные испытания гильз кристаллизатора с внутренней формой угла, выполненной в виде фаски, доказали, что эта форма угла позволяет обеспечить условия, при которых происходит повышение стойкости гильз. Выявленные недостатки решены путем создания новой конструкции гильзы кристаллизатора.

#### Список литературы

1. Рафинирование металла в промежуточном ковше / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, М.В. Семенов, А.Н. Русаков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 1. С. 43-46.



2. Миронов О.А., Нефёдов А.В., Точилкин В.В. Разработка рафинирующих устройств модернизируемых промежуточных ковшей МНЛЗ // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. А.Г. Корчунова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С. 61-65.
3. Вдовин К.Н., Семенов М.В., Точилкин В.В. Рафинирование стали в промежуточном ковше МНЛЗ: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 118 с.
4. Точилкин В.В., Филатов А.М. Пневмопривод металлургических манипуляторов: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2005. 211 с.
5. Intake chamber of the tundish in a Continuous Slab-Casting Machine/ Vdovin K.N., Melnichuk E. A., Nefedov A.V., Tochilkin V.V. // Steel in translation: Allerton Press, Inc., 2014. Vol. 44. № 3. P. 186-189.
6. Improvement of Steel Pouring in Section CBCM / Vdovin K.N., Marochkin O.A., Tochilkin V.V. // Metallurgist. Vol. 58. № 3-4. P. 306-309.
7. Creating a stream simulator to improve the wear resistance of refractories during the casting of continuous on continuous section casters / Vdovin K.N., Marochkin O.A., Tochilkin V.V. // Refractories and industrial ceramics, New York: Springer New York Consultants Bureau. 2014. Vol. 54. № 6. P. 435-437.
8. Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок: монография / К.Н.Вдовин, В.В. Точилкин, И.М. Ячиков. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 348 с.
9. Модернизация конструкции кристаллизатора и совершенствование технологии разливки стали на сортовых МНЛЗ / К.Н. Вдовин, С.Н. Ушаков, О.А. Марочкин, В.В. Точилкин // Технология металлов. 2013. № 9. С. 38-41.
10. New Plastic Refractory Linings for Protecting a Metal Stream During Pouring into a CBCM / Vdovin K.N., Marochkin O.A., Tochilkin V.V., Umnov V. I. // Refractories and industrial ceramics, New York: Springer New York Consultants Bureau. 2014. Vol. 55. № 4. P. 318-320.
11. Непрерывная разливка стали. Расчеты медных кристаллизаторов: монография / И.М. Ячиков., К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, Т.П. Ларина, И.Е.Петров. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 190 с.
12. Пат. 150826 РФ, МКИ В22D 11/04. Кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок / Марочкин О.А. // Бюл. 2015. № 6.

УДК 669.054

**О.А. Троицкий, С.Д. Самуйлов, В.Ф. Юдкин,  
В.В. Кашин, Ю.Д. Исупов**

### **ТЕХНОЛОГИЯ ДЕВАНАДАЦИИ ЧУГУНА С ПРИСАДКОЙ СОДЕРЖАЩИХ ОКАЛИНУ БРИКЕТОВ НА ОСНОВЕ СТАЛЬНОЙ СТРУЖКИ**

***Аннотация.** Приводится опыт утилизации металлической стружки сваркой методом кратковременного воздействия электрического тока и получения технологических брикетов, осуществление рециклинга отходов металлургической и*

машиностроительной отраслей, предложено использование сочетания металлической стружки и окалины в конвертерном переделе.

**Ключевые слова:** рециклинг, утилизация, металлическая стружка, сварка, воздействие электрического импульса, брикет, конвертер, окалина.

Утилизация металлических отходов – актуальная задача как в связи с ростом стоимости металлургического сырья, так и в связи с проблемами экологии. Одна из возникающих при этом проблем – утилизация легковесных металлических отходов, которые должны быть транспортабельны [1].

Возможный путь её решения – измельчение отходов, их сепарация и брикетирование с получением в компактном виде высококачественной шихты – основы металлургического процесса. До сегодняшнего дня основным источником шихтовых материалов является первичное сырье, добываемое из природных источников, но при этом большая часть металла выплавляется из вторичного сырья, т.е. в металлургии проходит процесс рециклинга. Таким образом, рациональное использование легковесных металлоотходов – одна из первоочередных задач. К числу таких отходов относится металлическая стружка, листовая обрезь, облой, всплёсы и т.п. Это производственные отходы, их важно использовать наиболее полно потому, что при их многократном рециклинге возможно обеспечить минимальное накопление примесей.

Способ состоит в том, что измельчённые металлические отходы прессуют при сравнительно небольших давлениях, примерно до  $0,5 \text{ т/см}^2$  (рис.1).

Получают заготовки брикетов, затем их подвергают обработке током с использованием коротких импульсов продолжительностью примерно  $10^{-3}$  с. Эта обработка позволяет связать спрессованную стружку в прочный брикет. Весь металл при брикетировании нагревается незначительно, а локальные зоны контактов нагреваются лишь на короткое время. Это позволяет избегать окисления металла [2].

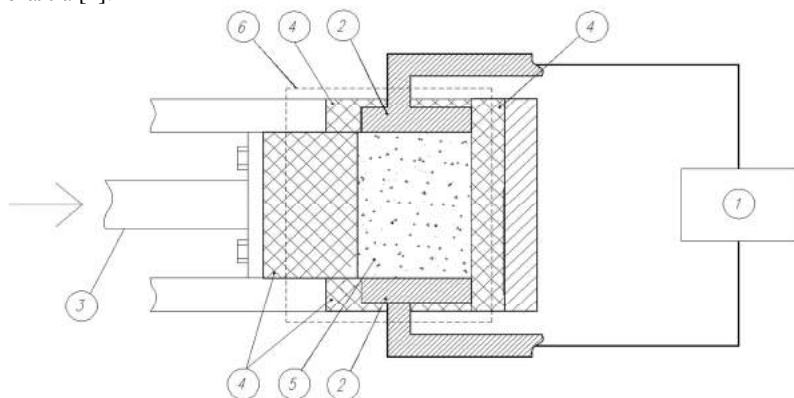


Рис. 1. Схема основного узла установки:

- 1 – источник импульсного электрического тока; 2 – электроды; 3 – пресс;
- 4 – изоляторы; 5 – стружка; 6 – электроизолированная пресс-форма

Были изготовлены брикеты различной формы, размера и плотности из отходов разного вида и качества: стружки чугуна и сталей, магнитных и немагнитных (Ст3, Ст45, нержавеющая сталь 12Х18Н10Т); из измельченного стального лома и металлокорда автомобильных шин; стружки титановых сплавов различных сортов, в том числе высокопрочных (ВТ1-0, 3М, ВТ20 и др.), алюминия, меди. Окисление металла не установлено. Прочность брикетов на разрыв составил величину  $50 \text{ кг/см}^2$  и более (рис. 2).

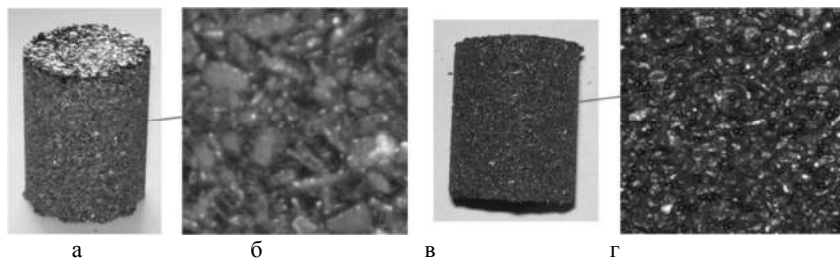


Рис. 2. Структура брикетов:

а – Брикет из порошка титана. Размеры брикета: диаметр 35, высота 46,5 мм; масса 103 г, плотность  $2,3 \text{ г/см}^3$ ; пористость 50%, осыпь порошка 2,5 г, 2,4 %; б – увеличенное изображение центральной части  $1 \times 1 \text{ см}$ ; в – композитный брикет из порошка титана и стеклообразных минеральных шариков. Размеры брикета: диаметр 35, высота 40,5 мм; масса 109 г, плотность  $2,8 \text{ г/см}^3$ ; осыпь порошка 3,4 г, 3,1 %, содержание шариков по насыпному объёму 20 %, по весу 16%, в объёме брикета стекло 9%, титан 55%, поры 36 %; г – увеличенное изображение центральной части  $1 \times 1 \text{ см}$

При относительно небольших затратах энергии (до  $5 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$ ) прочность брикетов на разрыв превысила  $200 \text{ кг/см}^2$ , что вполне достаточно для транспортировки и переработки. Проведена плавка с получением мини-слитков, произведен химический анализ металла и исследование его механических свойств. Исследование показало, что при брикетировании на воздухе даже такого химически активного металла как титан, соединения азота не образуются, окисление невелико (по кислороду не более 0,008%), а в целом загрязнение металла незначительно. Для брикетов большой плотности (25% металла) температура нагрева не превышает  $200^\circ\text{C}$ . При таком нагреве не происходит ухудшения качества металла, что подтверждают и результаты химического анализа [3].

Одним из вариантов использования «каркаса» из металлической стружки может являться утилизация железной окалины, т.е. производящего ток материала, образующегося на металлургических предприятиях в значительных количествах. Окалину можно брикетировать совместно с мелкой чугунной или стальной стружкой и вводить в плавку. Задача, решение которой для конвертерного передела ванадийсодержащего чугуна, трудно переоценить. Окалина, являющаяся охладителем реакционной зоны при конвертировании чугуна и снижающая угар железа за счет уже имеющихся окислов железа в присаживаемом материале [4], является практически безальтернативным веществом. Одним из решений подготовки окалины к утилизации может служить техническое решение В.В. Кашина,

Институт металлургии УрО РАН «Способ переработки металломаслосодержащих отходов...» предлагает перемещение замасленной окалины из отвалов, выгрузка из железнодорожных вагонов по нагретой до 500°C вращающейся со скоростью 10 об/мин поверхности, удаление паров масла без доступа воздуха [5]. Следующий этап – смешение продукта и металлической стружки, брикетирование и воздействие электрического импульса по описанной выше технологии.

За период пуска и освоения технологии передела ванадиевых чугунов в условиях ККЦ ЕВРАЗ НТМК с присадкой металлолома и окалины в различных сочетаниях опробована. Новый материал – брикеты из стальной стружки, содержащие в своей массе окалину, – является весьма перспективным.

#### Список литературы

1. Черноусов П.И., Голубев О.В., Неделин С.В. Аспекты использования вторичных материалов ЧМ // Металл-ЭКСПО 2005: сб. докладов конференции. М., 2005. С. 26–32.
2. Абрамова К.Б., Самуйлов С.Д., Троицкий О.А. Использование электроимпульсной технологии для брикетирования металлической стружки // Научные труды и инженерные разработки V Российской выставки «Изделия и технологии двойного назначения»: сб. М., 2004. С. 57–59.
3. Самуйлов С.Д. и др. Пористые металлические материалы, получаемые с использованием электроимпульсной технологии // Металл-ЭКСПО 2007: сб. докладов конференции. М., 2008.
4. Пакшинцев Е.А., Исупов Ю.Д. Предложение по конструктивному исполнению кислородной фурмы, обеспечивающей нестационарное дутье в кислородно-конвертерном процессе // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Т.1. С. 219–220.
5. Пат. 2167948 РФ. Способ переработки металломаслосодержащих отходов и устройство для его осуществления / Кашин В.В.

УДК 621.778.011

**О.С. Железков, И.Ш. Мухаметзянов, С.А. Малаканов**

#### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО СЕЧЕНИЯ**

**Аннотация.** *Используя метод конечных элементов, выполнено компьютерное моделирование процессов волочения трапецевидной проволоки по ГОСТ 11850-72. Смоделировано три варианта технологии: волочение с использованием монолитной волоки, четырехроликковой волоки и двух двухроликковых волок. Отмечены преимущества и недостатки рассмотренных технологий.*

**Ключевые слова:** *пружинные шайбы, проволока трапецевидного профиля, монолитная волока, четырехроликковая волока, двухроликковая волока, метод конечных элементов, радиус скругления углов профиля.*

Проволока трапецевидного профиля (ГОСТ 11850-72) из сталей марок 40С2А, 65Г используется для изготовления путевых пружинных шайб по ГОСТ 19115-91, которые широко применяются в конструкции верхнего строения железнодорожного пути для крепления рельсов к железобетонным шпалам.

На рис. 1 представлено поперечное сечение трапецевидного профиля и основные размеры. В ГОСТ 11850-72 регламентированы параметры, которые существенно влияют на процесс навивки пружинных шайб и их качество. В частности, для профиля № 10, применяемого при изготовлении путевых пружинных шайб, радиусы  $r$  скругления углов не должны превышать 1,5 мм, а механические свойства трапецевидной проволоки составлять: временное сопротивление  $\sigma_B = 590\text{--}780$  МПа; относительное удлинение  $\delta$  не менее 15%.

На качество проволоки по геометрическим параметрам и механическим свойствам влияют такие факторы, как диаметр исходной заготовки, коэффициент трения между заготовкой и инструментом, схема напряженно-деформированного состояния, чистота поверхности исходной заготовки и др.

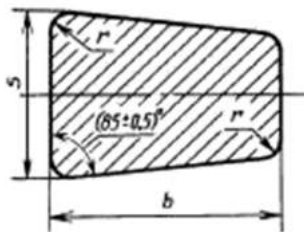
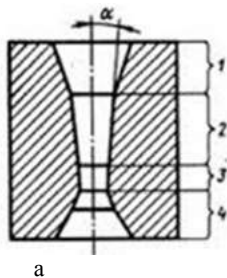


Рис. 1. Поперечное сечение трапецевидного профиля по ГОСТ 11850-72

Изготовление проволоки осуществляется с использованием процессов волочения [1]. При изготовлении проволоки трапецевидного профиля наиболее широко используются технологии, включающие волочение в монолитных волоках (ОАО «Северстальметиз», г. Череповец), волочение в четырехроликовых волоках (ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск). На рис. 2, а представлена конструкция монолитной волоки, а на рис. 2, б – четырехроликовая волока.



а



б

Рис. 2. Волоочильный инструмент для формирования трапецевидного профиля: а – монолитная волока; б – четырехроликовая волока

На основании проведенных исследований разработано устройство для волочения проволоки трапецевидного профиля [2], содержащее установленные по оси волочения две пары роликов, причем у первой по ходу волочения пары рабочие поверхности роликов выполнены гладкими, а оси вращения роликов второй пары относительно первой повернуты на  $90^{\circ}$  и смещенными по оси волочения (рис. 3). При этом зазор между роликами первой пары составляет 0,94–0,99 ширины большего основания трапеции поперечного сечения проволоки, а у второй пары один из роликов выполнен с кольцевыми канавками, а другой – гладким. Кроме того, вторая пара роликов установлена с возможностью осевого перемещения и фиксации.

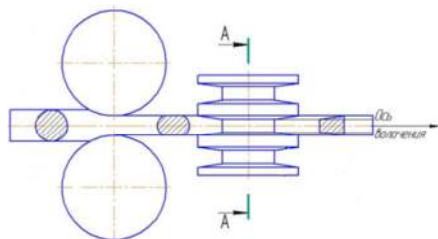


Рис. 3. Устройство для волочения трапецевидного профиля по патенту [2]

Используя программный комплекс «DEFORM-3D», базирующийся на методе конечных элементов [3], выполнено компьютерное моделирование процессов волочения трапецевидного профиля с использованием монолитной проволоки, четырехроlikовой проволоки и двух двухроlikовых волок.

Анализ патентно-информационных материалов и результатов компьютерного моделирования показал, что:

1. Применение монолитных волок обеспечивает получение качественного профиля и не требует затрат на настройку инструмента. Однако процесс волочения связан с повышенными усилиями волочения и сравнительно низкой стойкостью волок.

2. При использовании четырехроlikовых волок снижаются усилия волочения и повышается стойкость инструмента. Однако настройка инструмента, как правило, связана с существенными затратами рабочего времени.

3. В случае применения устройства в виде двух двухроlikовых волок затраты рабочего времени на настройку минимальны, а по сравнению с использованием монолитных волок снижаются усилия волочения.

#### Список литературы

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1971. 447 с.
2. Пат. 147933 РФ. Устройство для волочения проволоки трапецевидного профиля / Железков О.С., Мухаметзянов И.Ш., Жуковский Л.З., Малаканов С.А. Заяв. № 2014129217/02 от 15.07.2014. Опубл. 20.11.2014. Бюл. № 32.

3. Железков О.С., Малаканов С.А., Мухаметзянов И.Ш. Компьютерное моделирование процесса волочения при формировании профиля трапецевидного сечения // Механика и актуальные проблемы металлургического машиностроения: международ. сб. науч. тр. / под ред. О.С. Железкова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. С. 118–122.

УДК 531.43/46

**Р.Н. Савельева, Е.С. Иванова**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИВОДА ВАЛКОВ ЧЕРНОВОЙ КЛЕТИ «ДУО» СТАНА 2500 ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ОАО «ММК»**

***Аннотация.** Техническое диагностирование оборудования линии привода валков черновой клетки «ДУО» выявило неудовлетворительную работоспособность ряда ее элементов, в частности зубчатого зацепления шестеренных валков. На основе аналитического исследования ресурса шестеренных валков по критерию кинетической прочности предложены материалы с более высокими прочностными характеристиками, позволяющие повысить долговечность шестеренных клетей.*

***Ключевые слова:** надежность, долговечность, работоспособность, ресурс, шестеренные валки, черновая клеть.*

Актуальной проблемой теории надежности является решение вопроса о прогнозировании безотказности и долговечности нагруженных деталей и узлов машин на стадии проектирования и эксплуатации по различным критериям (параметрам состояния). Именно этой проблеме и посвящена данная работа.

Объектом исследования являются элементы главного привода черновой реверсивной клетки «ДУО» ЛПЦ-4 ОАО «ММК», состоящие из электродвигателя, главного шпинделя и муфты, шестеренной клетки, универсальных шпинделей и рабочих валков.

Предметом исследования служат показатели безотказности и долговечности главного привода.

Техническое диагностирование оборудования привода валков клетки «ДУО» выявило неудовлетворительную работоспособность ряда его элементов, в частности зубчатого зацепления шестеренных валков. Основными причинами недостаточной работоспособности шестеренных клетей являются действующие в них значительные динамические нагрузки. Одним из направлений повышения работоспособности шестеренных валков данной клетки является применение материала с более высокими прочностными характеристиками.

Шестеренные валки на стане 2500 горячей прокатки ОАО «ММК» выполнены из стали 40ХН. Для оценки ресурса безотказной работы существующей шестеренной клетки был использован современный кинетический подход к расчету долговечности элементов механических систем, представленный в работах [1–4]. С позиции кинетического подхода ресурс нагруженных деталей машин рассчиты-

ваются на основе математического моделирования процесса повреждаемости структуры их материала для заданных условий нагружения (заданных напряжений  $\sigma_{max}$  и температуры изделия  $T$ ). В этом случае параметром состояния исследуемых деталей является не максимальное напряжение  $\sigma_{max}$ , а текущая плотность скрытой энергии дефектов –  $u_e(\sigma_{max}, T, t)$ , которая накапливается с течением времени эксплуатации  $t$  в наиболее нагруженных локальных объемах материала, расположенных в зоне действия  $\sigma_{max}$ . Момент отказа шестеренной клети (ее ресурс) определяется моментом достижения плотностью  $u_e(\sigma_{max}, T, t)$  критического значения, которая является функцией энтальпии плавления материала детали в жидком состоянии  $\Delta H_s$  [5].

На рис. 1 показана графическая интерпретация этого расчета в виде номограммы. Как видно из этой номограммы, средний ресурс исходной шестеренной клети, рассчитанный по предложенной методике, составляет для заданных условий нагружения  $\bar{t} \approx 1,55 \cdot 10^7$  с = 0,5 лет. На номограмме ордината выделенной точки.

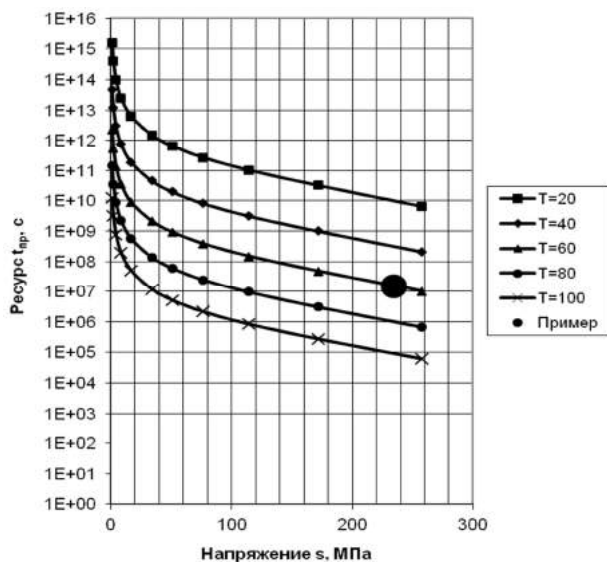


Рис. 1. Номограмма для оценки ресурса шестеренной клети (сталь 40ХН)

Для повышения долговечности шестеренных валков были предложены материалы с более высокими прочностными характеристиками по рекомендациям, приведенным в современной научно-технической литературе [6]: стали 18ХГТ, 12ХНЗА, 38Х2МЮА.

Для этих марок стали был рассчитан средний ресурс по методике прогнозирования долговечности. Результаты расчета представлены на рис. 2–4.



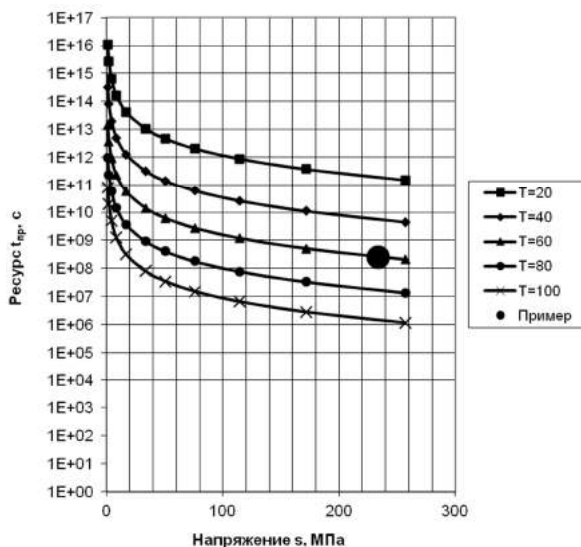


Рис. 2. Номограмма для оценки ресурса шестеренной клетки (сталь 18ХГТ)

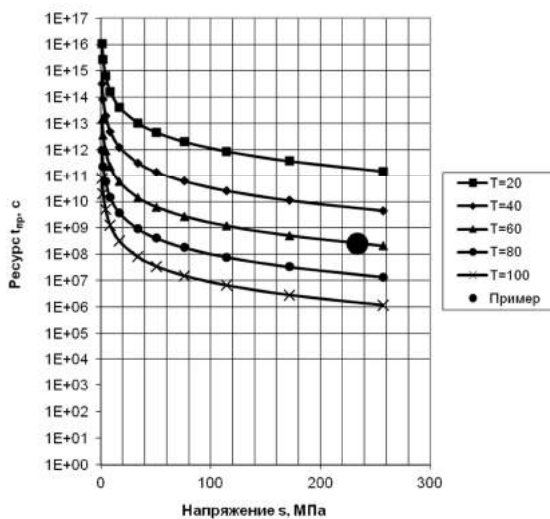


Рис. 3. Номограмма для оценки ресурса шестеренной клетки (сталь 12ХН3А)

По результатам расчета средний ресурс шестеренных валков из стали 18ХГТ составляет  $\bar{t} \approx 2,72 \cdot 10^8 c = 8,7$  лет, из стали 12ХН3А –  $\bar{t} \approx 2,55 \cdot 10^8 c = 8,2$  лет, из стали 38Х2МЮА –  $\bar{t} \approx 2,91 \cdot 10^7 c = 9,2$  лет, что на порядок превышает ресурс шестеренных валков из стали 40ХН.

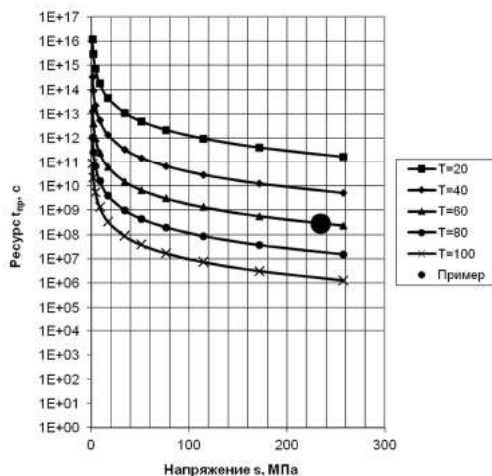


Рис. 4. Номограмма для оценки ресурса шестеренной клетки (сталь 38X2MЮА)

Таким образом, эти материалы являются более эффективными. При промышленном внедрении указанных материалов их высокая стоимость материалов может окупиться за счет существенного увеличения срока службы шестеренной клетки и главного привода в целом.

#### Список литературы

1. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1. С. 141-146.
2. Оценка долговечности нагруженных деталей по кинетическому критерию прочности / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, Р.Н. Савельева // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 137-141.
3. Методология вероятностной оценки надежности элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. А.Г. Корчунова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2012. С. 28-34.
4. Оценка долговечности и повышение срока службы золотниковых распределителей / А.В. Анцупов, В.А. Русанов, В.П. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), Р.Н. Савельева // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. А.Г. Корчунова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г. И. Носова, 2012. С. 44-52.

5. Конструкции и расчет надежности деталей и узлов прокатных станов: учеб. пособие / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.А. Русанов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 156 с.
6. Стали и сплавы. Марочник: справ. изд. / В.Г. Сорокин, М.А. Гераськин, В.С. Палеев и др. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 608 с.

УДК 531.8

**А.П. Батрашкин, В.И. Кадошников, А.А. Богданов, М.Р. Иксанов**

## **АКТИВНЫЙ СИЛОВОЙ ЭКСОСКЕЛЕТНЫЙ КОМПЛЕКС**

**Аннотация.** Рассматриваются типы экзоскелетов. Учитывается необходимость и возможность создания активного силового экзоскелетного комплекса. Ставятся цели и задачи при решении данного вопроса. Учитывается опыт иностранных разработчиков. Выполняется проработка узловых решений.

**Ключевые слова:** активный силовой экзоскелетный комплекс, экзоскелет, экзоскелетон, экзоскелетный костюм, активный экзоскелет, пассивный экзоскелет переноска грузов, медицинская реабилитация опорно-двигательной системы.

Данный доклад не ставит своей целью провести обзор существующих в мире решений, тем более что некоторые из них не содержат информации, касающейся конструктивных особенностей моделей, их параметров и системы управления, а носят скорее изыскательный характер для реализации поставленной конструкторской задачи.

**Экзоскелёт** (от греч. *ἔξω* – внешний и *σκελετός* – скелет) – рычажный комплекс, предназначенный для увеличения усилий человека за счёт внешнего каркаса. Экзоскелетный комплекс (далее – экзоскелет, экзоскелетон) дублирует степени подвижности человека (с возможным упрощением и уменьшением их количества без потери функционала). Экзоскелет позволяет значительно увеличить физические возможности человека и снизить утомляемость за счет снятия (полной или частичной) нагрузки с мышц. Экзоскелет может использоваться для реабилитации больных с нарушениями опорно-двигательного аппарата.

В настоящее время специалисты из России [1, 2], США [3–5], Японии [6–8], Франции [9], Новой Зеландии [10] и Израиля [11] ведутся активные разработки подобных комплексов. Реализуемая технология имеет широкий спектр применения, начиная от медицины – для реабилитации больных, заканчивая использованием спасателями при ликвидации последствий ЧС. Особой сферой является использование военными.

Существуют два типа экзоскелетов: пассивный и активный.

- **Пассивный экзоскелет** – обеспечивается частичная компенсация нагрузки на мышцы и скелет человека при переноске тяжестей, воспринимает только вертикальную составляющую веса груза. Снижение нагрузки на тело человека обеспечивается без использования внешних источников энергии. Как следствие, разгружает позвоночник, суставы и ноги человека при ходьбе. Устройство приводится в движение под действием мышц человека.

- *Активный экзоскелет* – реализует силовое воздействие на внешние объекты под управлением движения частей тела человека. В экзоскелете используются приводные решения и задействуется источник питания. Человек выполняет роль оператора машины, т.е. задает скорость и направление движения, а также регулирует необходимое усилие.

Принцип действия *пассивного* экзоскелета (рис. 1, а) заключается в поддержке груза при установке одной из ног в вертикальное положение (фиксация коленного сустава), т.е. использование такого решения более актуально при действии стационарных нагрузок – при удержании инструмента или груза либо при их переносе.

Достоинствами данного типа конструкции являются:

- простота конструкции и использования;
- относительно недорогое исполнение;
- при горизонтальном перемещении груза – разгружает мышцы человека;
- небольшая нагрузка при статичном использовании (удержание груза на месте, инструмента в одном положении) – энергия расходуется на удержание равновесного положения.

Недостаток данного типа: перенос грузов по пересеченной местности не дает существенных результатов, т.к. отсутствует возможность постоянного обеспечения вертикальной нагрузки в следствии изменения вектора силы относительно горизонта.

Принцип действия *активного* экзоскелета (рис. 1, б) заключается в замене мускульной силы человека на приводные решения с использованием электромеханического привода (электромоторы с редукторами), гидравлического (гидроцилиндры, гидромоторы). Данный тип имеет источник питания (бортовой или внешний), что определяет значительный вес конструкции (относительно пассивного экзоскелета). Позволяет значительно снизить нагрузку на оператора либо усилить силовые действия оператора при необходимости. При использовании бортового источника питания имеется ограничение по времени использования, при стационарном источнике ограничивается зона работы.



Рис. 1. Пассивный и активный экзоскелеты:  
а – экзоскелет HULC (США); б – экзоскелет HAL-5 (Япония)

На основании анализа известных реализованных конструктивных решений экзоскелетов приняты следующие рекомендации: тип приводного решения – электромеханический с бортовым источником питания. Наиболее предпочтительны безколлекторные моторы фирмы «Maxon Motor» и редукторы фирмы «Harmonic Drive». Принимаем решение о достаточном количестве степеней подвижности:

- запястье – 2 активных степени подвижности;
- рука – 5 активных степеней подвижности;
- спина – 1 пассивная степень подвижности;
- нога – 3 активных и 2 пассивных степеней подвижности.

При конструировании макета экзоскелета (рис. 2) приходим к выводу, что для унификации костюма необходимо предусмотреть возможность регулировки подвижных звеньев для адаптации комплекса под конкретного оператора. На данном этапе активно отрабатываются принципы реализации системы управления экзоскелетом: через токовые напряжения на моторах, установку в узлах вращения и ротации тензодатчиков (рис. 3), реализацию принципа установки датчиков давления по принципу «костюм в костюме».

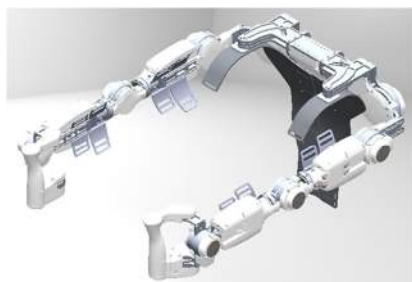


Рис. 2. 3D-модель макета активного экзоскелета

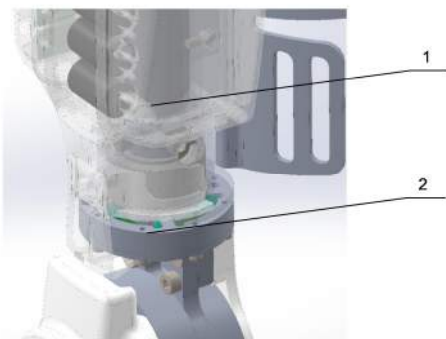


Рис. 3. 3D-модель узла активного экзоскелета:  
1 – мотор-редуктор «Maxon Motor»; 2 – тензодатчик

По результатам испытаний макетных образцов будет реализована полноразмерная функциональная модель силового экзоскелета, включающая в себя комплекс, состоящий из манипуляторных и педипуляторных модулей, действующих в комплексе.

#### Список литературы

1. <http://www.exoatlet.ru/>
2. <http://twsystem.ru/ru>
3. <http://intl.eksobionics.com/>
4. <http://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us/>
5. [http://www.nasa.gov/offices/oct/home/feature\\_exoskeleton.html](http://www.nasa.gov/offices/oct/home/feature_exoskeleton.html)
6. <http://www.cyberdyne.jp/english/index.html>
7. <http://corporate.honda.com/innovation/walk-assist/>
8. <http://2045.com/news/31052.html>
9. <http://www.army-technology.com/features/featurefrench-hercule-robotic-exoskeleton/featurefrench-hercule-robotic-exoskeleton-2.html>
10. <http://www.rexbionics.com/>
11. <http://www.rewalk.com/>

УДК 621.74:669.1

**А.В. Ефимов, В.П. Чернов**

#### **ТЕРМОВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК**

**Аннотация.** *Сталь с литой структурой без термической обработки часто не может удовлетворять нужным требованиям. Рассмотрена возможность упрочнения отливок из стали марки 35Л, используя метод термовременной обработки в твердом состоянии. Изучено влияние термовременной обработки на структуру и свойства отливок.*

**Ключевые слова:** *термовременная обработка, фазовые состояния, термограмма, структура, зерно.*

В условиях современного литейного производства часто не удается получить отливки требуемого качества без дополнительной термической обработки. В связи с этим в МГТУ им. Г.И. Носова были проведены исследования по влиянию термовременной обработки на структуру и свойства стальных отливок [1, 2].

В данных исследованиях изучался процесс термовременной обработки, при котором нагрев стали происходит до температуры изменения фазового состояния металла. Исследования проводились на отливках из стали марки 35Л. Для определения фазовых изменений был проведен термический анализ полученной стали. Исследования проводились на приборе синхронного термического анализа STA (Iupiter 449 F3) фирмы «NETZSCH».

На рис. 1 представлена термограмма, которая имеет области, показывающие определенные фазовые переходы.

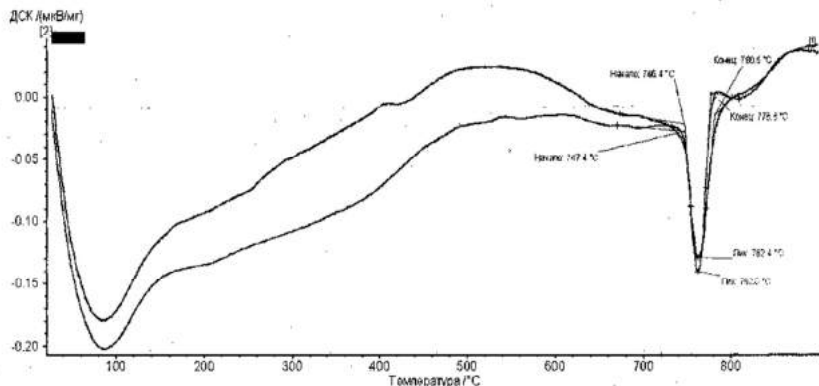


Рис. 1. Термограмма стали 35Л

Первая область находится в интервале температур 80–100<sup>0</sup>С. Вторая область находится в интервале 747–776<sup>0</sup>С с минимумом при 760<sup>0</sup>С с соответствующим эндотермическим эффектом, при котором происходит растворение уже имеющихся карбидов и зарождение центров кристаллизации новой фазы (аустенита). Минимальный пик характеризует максимальную скорость образования центров кристаллизации. В таблице представлен химический состав исследуемой стали.

Химический состав стали 35Л

Наименование	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
	%							
Готовая сталь	0,33	0,5	0,9	0,016	0,016	0,4	0,2	0,75

Термовременная обработка производилась в печи сопротивления «Накал» модели ПЛ 20/12,5 мощностью 3 кВт и максимальной температурой 1350<sup>0</sup>С. Наиболее оптимальное время выдержки составляет 5 мин [3, 4].

В предварительно нагретую печь до температуры 760<sup>0</sup>С помещали два образца стали. Один образец выдерживался в течение 5 мин, а затем спокойно охлаждался на воздухе до комнатной температуры. Второй образец выдерживался в печи в течение 20 мин – время полного прогрева образца по всему объему, а затем также спокойно охлаждался на воздухе. Нагрев и охлаждение первого образца проводились семь раз, а второго три раза. На рис. 2 представлен образец литой структурой.

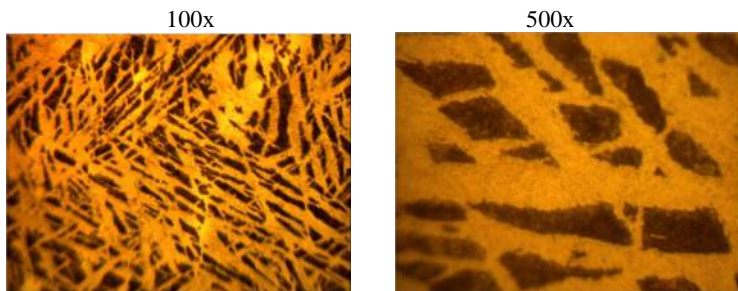


Рис. 2. Структура литого образца

Среднеуглеродистая литая сталь 35Л без термообработки имеет феррито-перлитную структуру с видманштеттовым (ориентированным) распределением феррита и наличием ферритной сетки по границам бывших аустенитных зерен, соотношение перлита к ферриту 35/50% [5, 6].

Образец, прошедший трехкратную пятиминутную обработку, имеет более измельченную структуру. Наблюдается зарождение новой фазы. Произошло значительное измельчение структуры аустенита. Образец, прошедший трехкратную выдержку в течение 20 мин, имеет еще более значительные изменения в структуре. Произошло перерождение видманштетта в иную зернистую структуру (рис. 3).

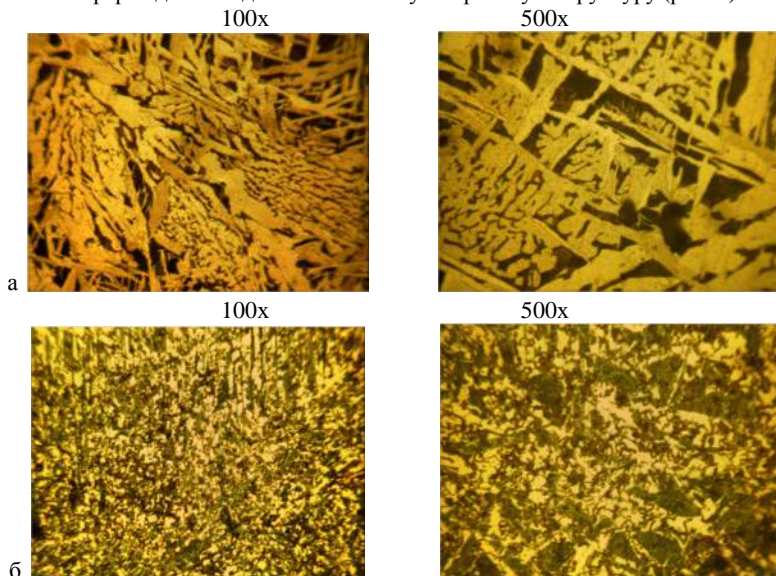


Рис. 3. Структура образцов:

а – образец с выдержкой 5 мин; б – образец с выдержкой 20 мин и семикратной выдержкой образца стали в течение 5 мин (рис. 4).

Иглы феррита разбились и приобрели округлую форму



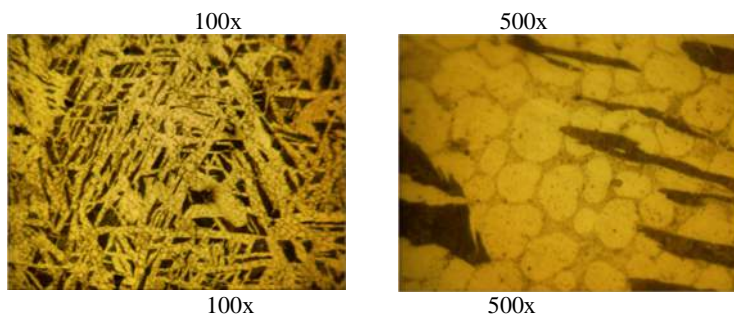


Рис. 4. Структура стали после семикратной обработки

В результате произошло исправление видмаштетт-структуры, чего не наблюдается при выполнении выдержки в течение большого времени. Структура приобрела более равновесный вид.

Структура стали, прошедшая трехкратную обработку в течение 20 мин при медленном охлаждении в закрытом объеме, имеет также иную структуру (рис. 5).

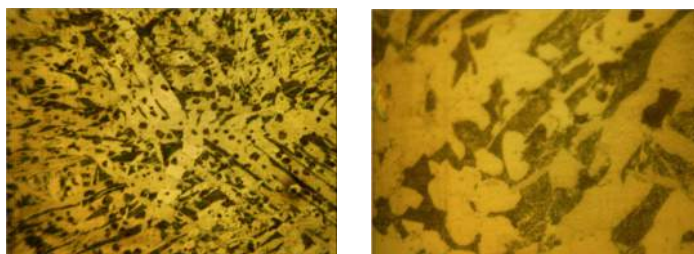


Рис. 5. Структура стали после охлаждения в закрытом объеме

При данных условиях также произошло измельчение структуры видмаштетта, но слегка в иной форме. Дальнейшая термовременная обработка при данных условиях не способствует измельчению структуры стали, измельчение зерна должно происходить при иных режимах обработки. Задача дальнейших исследований – определение параметров, при которых будет происходить дальнейшее измельчение зерна.

#### Список литературы

1. Гуляев А.А. Металловедение. 5-е изд., перераб. М.: Металлургия, 1977. 647 с.
2. Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов. М.: Металлургия, 1971. 496 с.
3. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1974. 399 с.
4. Влияние режимов термовременной выдержки на структуру и свойства стальных отливок / А.П. Емельянов, В.П. Чернов, А.В. Ефимов, К.А. Данилюк //

- Литейные процессы. Вып. № 10 / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Т.1. С. 12-16.
5. Лившиц Б.Г. Металлография. М.: Металлургия, 1971. 404 с.
  6. Корягин Ю.Д., Окишев К.Ю., Созыкина А.С. Оценка влияния содержания углерода и режима термической обработки на фазовый состав хромованадиевых чугунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №2. С. 56-59.

УДК 621.778.233

**О.С. Железков, В.А. Арзамасцева**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИБКИ ВРАЩАЮЩИМСЯ ИНСТРУМЕНТОМ**

**Аннотация.** *Выполнено конечно-элементное моделирование процесса пластической гибки применительно к изготовлению пружинных клемм крепления рельсов, по результатам которого получены картины изменения основных параметров напряженно-деформированного состояния.*

**Ключевые слова:** *клемма крепления рельсов, пластическая деформация, холодная гибка, конечно-элементное моделирование, интенсивность напряжений.*

Правительством РФ разработана «Стратегия развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 г.», в которой предусматриваются мероприятия, направленные на расширение сети высокоскоростных железных дорог и повышение массы подвижного состава. Повышение скорости и массы составов возможно только за счет совершенствования и применения новых конструкций верхнего строения железнодорожного пути, в которых используются железобетонные шпалы и рельсовые скрепления с пружинными клеммами [1].

Широкое применение за рубежом находят прутковые пружинные клеммы Sk1-12 (фирма «Vossloh», Германия) (рис.1) [2]. Однако высокая стоимость конструкции и высокая стоимость лицензии на производство сдерживают потребителей от использования этого рельсового скрепления фирмы «Vossloh» в условиях российских железных дорог.



Рис. 1. Пружинная клемма Sk1-12, фирма «Vossloh»

На Магнитогорском метизно-калибровочном заводе (ОАО «ММК-МЕТИЗ») разработана технология изготовления пружинных клемм ОП-105 (рис. 2), конструктивно близких к клеммам фирмы «Vossloh».

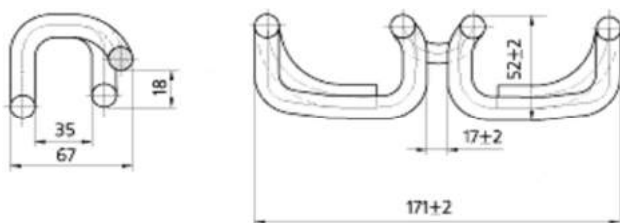


Рис. 2. Железнодорожная пружинная клемма ОП-105

Клеммы ОП-105 изготавливаются из калиброванного горячекатаного прутка  $\varnothing 13$  мм путем операции холодной гибки на специальном гибочном автомате MRP. На нем за три перехода осуществляется образование  $\omega$ -образной формы (рис. 3), а затем на прессе фирмы «BRET» в специальном штампе производится окончательная гибка-штамповка в горячую плоской заготовки для придания ей пространственной формы.

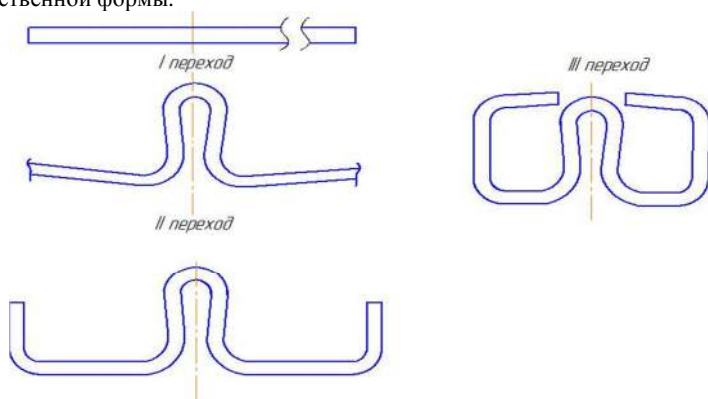


Рис. 3. Технологические переходы гибки заготовки клеммы

Используя программный комплекс DEFORM-3D, который базируется на методе конечных элементов, смоделирован процесс гибки заготовки клеммы  $\omega$ -образной формы клеммы. Исходная заготовка  $\varnothing 13$  мм и длиной 582 мм деформировалась посредством гибочных роликов и дорнов за три перехода [2].

На основании выполненных расчетов получены данные о напряженно-деформированном состоянии деформируемой заготовки. В частности, на рис. 4 показана картина распределения интенсивности напряжений на различных этапах деформирования.

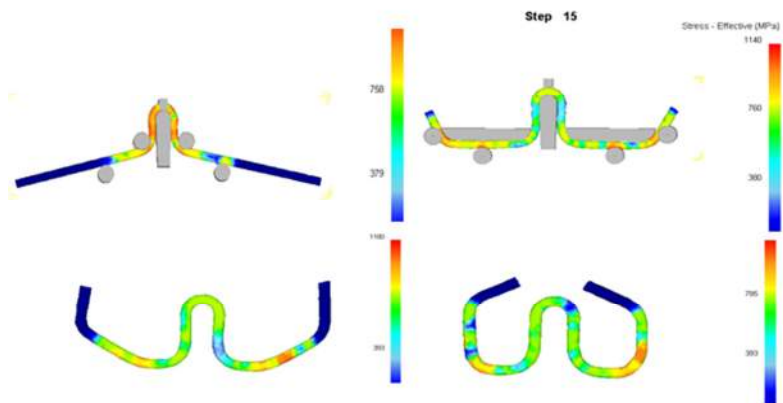


Рис. 4. Распределение полей напряжения на отдельных этапах гибки

Также на основании полученных данных были построены графики зависимости усилия от перемещения инструмента (рис. 5).

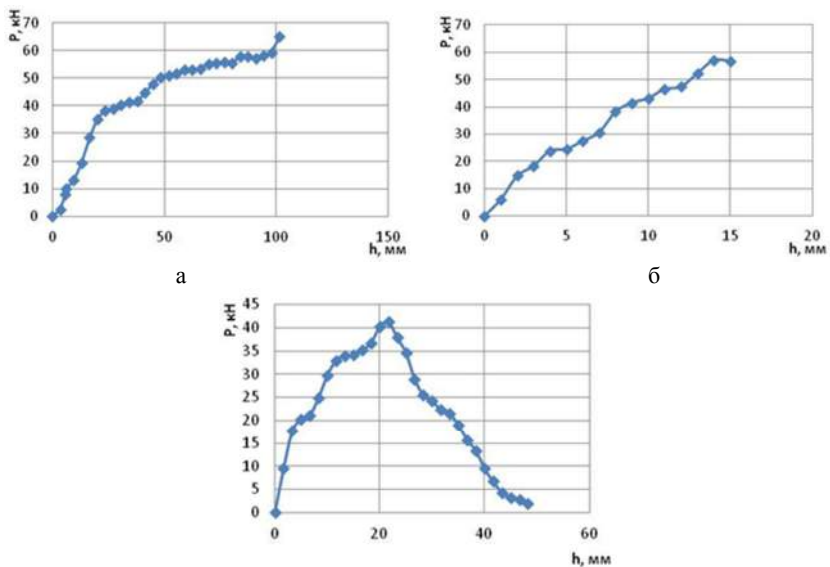


Рис. 5. Графики зависимости усилия  $P$  от перемещения  $h$  пуансонов:  $a$  – на первом переходе;  $b$  – на втором переходе;  $v$  – на третьем переходе

## Список литературы

1. Айсенманн И.Н. Совершенствование верхнего строения железнодорожного пути // Железные дороги мира. 1997. №12. С. 61-65.
2. Шарاپов С.Н., Афанасьев В.Ф. Разработка и внедрение рельсовых скреплений // Железнодорожный транспорт. 1995. №7. С. 47-51.
3. Железков О.С., Малаканов С.А., Арзамасцева В.А. Компьютерное моделирование упругого деформирования пружинных клемм крепления рельсов железнодорожного пути // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С. 57-60.

УДК 621.81-192

**А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов,  
М.Г. Слободянский, В.А. Русанов**

### МОДЕЛЬ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Аннотация.** Построена модель процесса формирования отказов деталей машин на стадии проектирования, которая позволяет прогнозировать их долговечность в предполагаемых условиях стационарного статического или циклического внешнего нагружения. В ее основу положено новое кинетическое уравнение деградации изделий под нагрузкой, позволяющее рассчитывать скорость повреждения структуры материала для всего возможного диапазона значений эксплуатационных напряжений и температур.

**Ключевые слова:** долговечность, критерий, прочность, прогнозирование, ресурс, срок службы.

На основе общей теории прогнозирования надежности деталей машин [1–9] в работах [10, 11] выведена зависимость для расчета их среднего ресурса  $t_*$  в квазистационарном приближении:

$$t_* = (u_{e*} - u_{e0}) / \dot{u}_e. \quad (1)$$

Для оценки средней скорости  $\dot{u}_e$  накопления плотности скрытой энергии дефектов в выражении (1) для стационарных условий эксплуатации изделия предложено использовать универсальное кинетическое уравнение повреждаемости В.В. Федорова в общем виде [12, 13]:

$$\dot{u}_e = \frac{2 \cdot k \cdot T \cdot U(\sigma_0, T_0)}{h} \exp \left[ -\frac{U(\sigma_0, T_0)}{k \cdot T} \cdot V_{am} \right] \cdot sh \left[ \frac{v_0 \cdot V_{am}}{2 \cdot k \cdot T_*} \cdot \left( \frac{k_\sigma^2 \cdot \sigma_i^2}{6 \cdot G(T) \cdot v_0} - \bar{u}_e \right) \right]. \quad (2)$$

В уравнениях (2) и (1):

$k, h, V_{am}, T$  – постоянная Больцмана, Планка, атомный объем материала детали и ее рабочая температура;

$\sigma_0$  и  $\sigma_i$  – шаровая и девиаторная часть тензора напряжений:

$$\sigma_0 = M_R \cdot \sigma / 3 \text{ и } \sigma_i = M_R \cdot \sigma; \quad (2a)$$

$\sigma$  – максимальные статические или циклические напряжения;  
 $M_R^2 = ((1+r) + (1-r) \cdot \sin \omega \cdot t_0)^2 / 4$  – коэффициент эквивалентности нестационарных напряжений;  $r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$  – коэффициент асимметрии;  $\sigma_{\max}$  и  $\sigma_{\min}$  – максимальное и минимальное напряжения цикла;  $\omega = 2 \cdot \pi / t_0$  – частота нагружения;  $t_0$  – период цикла;  $U(\sigma_0, T_0)$  – энергия активации процесса разрушения межатомных связей при данном напряжении  $\sigma$  и исходной температуре  $T_0$ :

$$U(\sigma_0, T_0) = U(p_{T_0}) - \Delta U_{T_0} - \Delta U_{\sigma_0}; \quad (2б)$$

$U(p_{T_0})$  – энергия активации с учетом теплового давления при  $T = T_0$ ,  $\sigma = 0$  и  $\Delta U_{T_0} = 0$ :

$$U(p_{T_0}) = (0,1215 + 5,8257 \cdot 10^{-3} \cdot T_0) \cdot 10^{-19} / V_{am}; \quad (2в)$$

$\Delta U_{T_0}$  – изменение энергии активации от повышения температуры до  $T = T_0$ :

$$\Delta U_{T_0} = 3 \cdot \alpha_0 \cdot K \cdot T_0 / 2; \quad (2г)$$

$\alpha_0, K = E / (3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu))$ ,  $E, \mu$  – коэффициент теплового расширения, модуль объемной и линейной упругости, коэффициент Пуассона;  $\Delta U_{\sigma_0}$  – изменение энергии активации от шаровой части тензора напряжений:

$$\Delta U_{\sigma_0} = \beta \cdot \sigma_0^2; \quad (2д)$$

$k_\sigma$  – комплексный структурный параметр:

$$k_\sigma = (6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV_0 + 0,12 \cdot 10^{-2})^{-1}; \quad (2е)$$

$HV_0$  – среднее значение твердости по Виккерсу;

$V_0, \varphi_\sigma$  – коэффициент неравномерности распределения энергии и коэффициент перенапряжения межатомных связей:

$$v_0 = T_0 / 870 \quad \text{и} \quad \varphi_\sigma = k_\sigma \cdot v_0^{0,5}; \quad (2ж)$$

$\alpha$  и  $\beta$  - вспомогательные параметры:

$$\alpha = \varphi_{\sigma}^2 / (6 \cdot G(T)) \text{ и } \beta = \varphi_{\sigma}^2 / (2 \cdot K(T)); \quad (2з)$$

$T$  – средняя рабочая температура изделия с учетом саморазогрева при стационарном циклическом нагружении:

$$T = T_0 + \Delta T = T_0 + (T_* - 870 \cdot \nu_0) / (44 \cdot \nu_0); \quad (2и)$$

$T_*$  – температура локальных разогревов:

$$T_* = T_0 \cdot \sigma_{np}^2 / (\sigma_{np}^2 - \sigma_a^2); \quad (2к)$$

$\sigma_{np}$  – предельное напряжение, равное пределу текучести  $\sigma_T$  для пластичных и пределу прочности  $\sigma_B$  для хрупких материалов, пределу контактной выносливости  $\sigma_{H \lim}$  при расчете ресурса на контактную усталость;

$T = T_0$  – средняя рабочая температура изделия при стационарном статическом нагружении;

$\mu(T)$ ,  $E(T)$ ,  $G(T)$ ,  $K(T)$  – физические характеристики материала в функции температуры:

$$\mu(T) = \mu \cdot e^{-0,0005 \cdot T} \text{ и } E(T) = E \cdot e^{-0,0007 \cdot T}; \quad (2л)$$

$$G(T) = E(T) / (2 \cdot (1 + \mu(T))) \text{ и } K(T) = E(T) / (3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu(T))); \quad (2м)$$

$u_{e*}$ ,  $u_{e0}$  – критическое и начальное значение плотности скрытой энергии:

$$u_{e*} = \Delta H_S - c \cdot \rho \cdot T, \quad u_{e0} = \left( (0,067 \cdot HV_0)^{1,2} \cdot k_{\sigma} \right)^2 / (6 \cdot G); \quad (2н)$$

$\bar{u}_e$  - среднее, накопленное за все время нагружения вплоть до разрушения, значение плотности скрытой энергии дефектов структуры материала элемента:

$$\bar{u}_e = (u_{e*} + u_{e0}) / 2. \quad (2п)$$

Совокупность уравнений (1), (2), (2а)-(2п) представляет собой модель процесса формирования отказов деталей машин, работающих в стационарных условиях силового и теплового нагружения. Однако зависимость (2), предложенная В.В. Федоровым [12, формула (3.37)], справедлива не во всем диапазоне значений рабочих напряжений. Для значений  $\sigma_i$ , при которых аргумент гиперболического синуса в уравнении (2) становится отрицательным, оно теряет физический смысл: сопротивление упрочняющейся среды становится больше вызывающей его появление работы формоизменения.

Для того чтобы устранить это противоречие и сделать корректным уравнение (2) для расчета средней скорости повреждаемости структуры материала, можно рассуждать следующим образом. Если в условии (2) принять  $\bar{u}_e = 0$ , то оно будет определять скорость накопления плотности скрытой энергии дефектов

$\dot{u}_e^{\delta/y}$  без учета сопротивления среды по принципу Ле-Шателье (без учета ее упрочнения). К истинному моменту разрушения тела  $t_*$  величина плотности скрытой энергии  $u_e^{\delta/y} = u_e^{\delta/y} \cdot t_*$  превысит истинное значение  $u_{e*}$  на величину  $\bar{u}_e = (u_{e*} + u_{e0})/2$ . Следовательно, среднюю скорость повреждаемости материала в стационарных условиях нагружения следует определять как  $\dot{u}_e = K_C \cdot u_e^{\delta/y}$  или по уточненному уравнению (2):

$$\dot{u}_e = K_C \cdot \frac{2 \cdot k \cdot T \cdot U(\sigma_0, T_0)}{h} \exp \left[ -\frac{U(\sigma_0, T_0)}{k \cdot T} \cdot V_{am} \right] \cdot sh \left[ \frac{v_0 \cdot V_{am}}{2 \cdot k \cdot T_*} \cdot \left( \frac{k_\sigma^2 \cdot \sigma_i^2}{6 \cdot G(T) \cdot v_0} \right) \right], \quad (3)$$

где коэффициент  $K_C$ , учитывающий сопротивление упрочняющейся структуры материала, равен [12, рис. 12]:

$$K_C = (u_{e*} - u_{e0}) / ((u_{e*} - u_{e0}) + (u_{e*} + u_{e0}) / 2) = 2 \cdot (u_{e*} - u_{e0}) / (3 \cdot u_{e*} - u_{e0}). \quad (4)$$

Таким образом, совокупность уравнений (1), (3), (4) (2а)-(2п) представляет собой модель длительной прочности деталей машин, работающих в стационарных условиях статического или циклического нагружения. Она позволяет оценивать их долговечность во всем, практически возможном диапазоне значений эксплуатационных напряжений и температур.

#### Список литературы

1. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1. С. 141-146.
2. Анцупов А.В. (мл.). Развитие теории прогнозирования надежности деталей машин / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №2. С.26-32.
3. Antsupov A.V. Designed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria / A.V. Antsupov, A.V. Antsupov (jun), V.P. Antsupov // Vestnik of Novosibirsk State Technical University, 2013. №5 (45). P. 62-66.
4. Анцупов А.В., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов В.П. Обеспечение надежности узлов трения машин на стадии проектирования: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 293 с.
5. Оценка долговечности нагруженных деталей по кинетическому критерию прочности / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 137-141.
6. Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования / А.В. Анцупов, М.В. Чукин, А.В. Ан-



- цупов (мл.), В.П. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №4. С. 56-61.
7. Методология вероятностной оценки элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.М. Овсов // Механическое оборудование металлургических заводов: Межрегион. сб. науч. тр. / под ред. А.Г. Корчунова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 28-34.
  8. Методология аналитической оценки надежности технических объектов / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. Т.1. С. 141-144.
  9. Анцупов А.В., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов В.П. Методология прогнозирования надежности элементов машин по различным критериям // Надежность. 2013. №3 (46). С. 5-14
  10. Особенности проектной оценки долговечности деталей машин в условиях много- и малоциклового усталости / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов // Механическое оборудование металлургических заводов: междунар. сб. науч. тр. / под ред. А.Г. Корчунова. Вып.3. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. С. 40-47.1.
  11. Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Анцупов В.П. Теория и практика обеспечения надежности деталей машин по критериям кинетической прочности и износостойкости материалов: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 308 с.
  12. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. Ташкент: Фан, 1985. 165 с.
  13. Федоров В.В. Основы эргодинамики и синергетики деформируемых тел / под ред. С.В. Федорова. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. Ч.III. Основы эргодинамики деформируемых тел. 222 с.

УДК 621. 793. 79

**В.И. Кадошников, И.Д. Кадошникова, И.П. Баланчук**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ ПО СРЕДСТВАМ САПР**

***Аннотация.** Рассмотрена возможность моделирования процесса нанесения покрытия механическим способом по средствам САПР. Выявлены достоинства и недостатки САПР для использования при расчете физических характеристик процесса покрытия металлической щеткой, его компьютерном моделировании и анализе полученных данных.*

***Ключевые слова:** компьютерное моделирование, нанесение покрытия, металлическая щетка, конечно-элементный анализ, прочностной анализ, ворс.*

Визуальное представление объектов, которые настолько сложны, что их описание иными способами не дает человеку ясного понимания может представляться графической моделью. Современные компьютерные технологии позволяют их реализовать с помощью Систем Автоматизированного Проектирования. Яркими представителями таких систем являются программы Deform, APM WM, КОМПАС и другие.

Компьютерное моделирование дает возможность:

- расширить круг исследовательских объектов – становится возможным изучать неповторяющиеся явления;
- визуализировать объекты любой природы, в том числе и абстрактные;
- исследовать явления и процессы в динамике их развертывания;
- совершать многократные испытания модели, каждый раз возвращая её в первичное состояние;
- находить оптимальную конструкцию объекта, не изготовляя его пробных экземпляров;
- проводить эксперименты без риска негативных последствий для здоровья человека или окружающей среды.

В качестве модели рассматривается процесс нанесения покрытия механическим способом. Он заключается в нанесении покрытий рабочим инструментом - вращающейся с высокой скоростью металлической щётки, ворс которой находится в одновременном контакте с материалом, с которого наносится покрытие и поверхностью, на которую наносится покрытие. Используемая программа – КОМПАС Аскон. Модель может быть точной копией оригинала, но чаще всего в моделях воссоздаются какие-нибудь важные для данного исследования элементы, а остальными пренебрегают. Поэтому реализуется представление объектов в форме, отличной от реальной, но приближенной к ней.

По имеющимся геометрическим характеристикам разрабатываем компьютерную модель (рис. 1). Она состоит из следующих элементов: 1 – щетка; 2 – элемент материала покрытия; 3 – поверхность, на которую наносится покрытие.

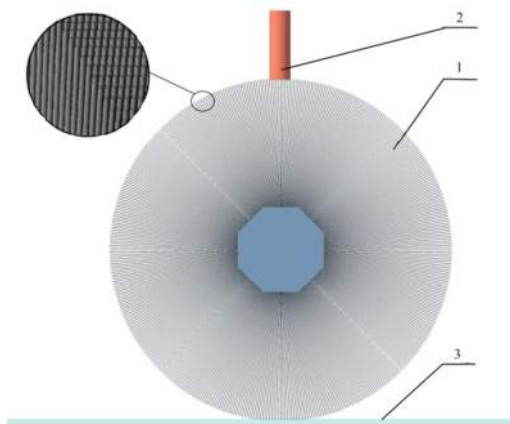


Рис. 1. Компьютерная модель процесса нанесения покрытия

Выбираем материалы, из которых состоят наши объекты. Программа содержит обширный перечень материалов и сортментов, информацию о свойствах материалов, назначении и области применения, заменителях и условиями замены, информацию по нормативным документам и т. д.

Далее прибегаем к помощи модуля APM FEM: Прочностной анализ библиотеки КОМПАС.

Система APM FEM представляет собой интегрированный в КОМПАС-3D инструмент для подготовки и последующего конечно-элементного анализа трехмерной твердотельной модели (детали или сборки).

С помощью APM FEM можно приложить нагрузки различных типов, указать граничные условия, создать конечно-элементную сетку и выполнить расчет.

APM FEM позволяет провести следующие виды расчетов:

- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- тепловой расчет.

Порядок подготовки модели и выполнения расчета:

1. Подключение библиотеки APM FEM: Прочностной анализ.
2. Подготовка модели к расчету – задание закреплений и приложение нагрузки.
3. Задание совпадающих граней (для КЭ-анализа сборки).
4. Генерация КЭ-сетки.
5. Выполнение расчета.
6. Просмотр результатов в виде карт напряжений, перемещений.

Подготавливаем модель к расчету согласно общему порядку. Задаем нагрузки и условия разбиения на конечные элементы (рис. 2). Так как поверхность рабочего инструмента включает в себя металлическую проволоку с малыми размерами (0,22 мм), то разбиение на тетраэдры стандартных расчетных размеров дают не совсем адекватные результаты, поэтому необходимо изменить размеры граней и сделать заново разбиение. Практически длина стороны элемента должна быть примерно в 2–4 раза меньше толщины самой тонкой детали в сборке.

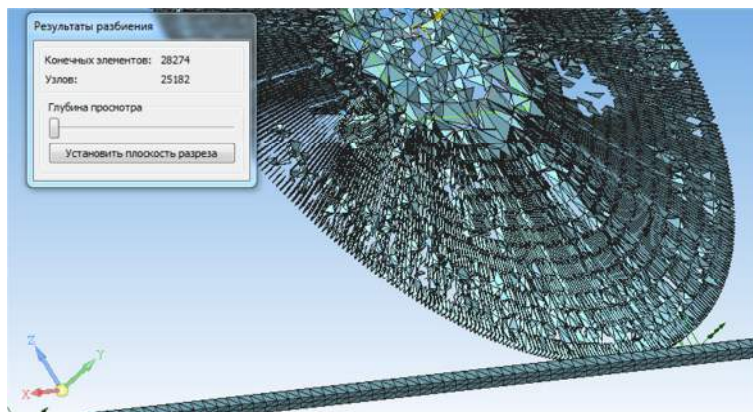


Рис. 2. Результаты разбиения

Выполняем статический расчет. Выводим результаты по главным напряжениям (рис. 3).

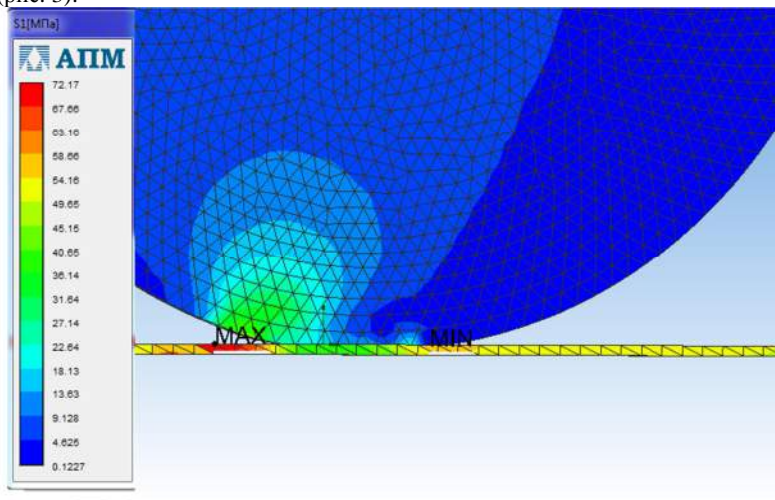


Рис. 3. Результат статического расчета

Нам представляется наглядное изображение распределения напряжений и цветовая шкала.

Компьютерное моделирование позволяет более наглядно представить объект рассмотрения, но также имеет следующие недостатки:

- Требует наличия определенных навыков в работе с графическими редакторами.
- Несмотря на автоматизацию расчетов - занимает значительное время.
- Представляет лишь приближенную к реальному объекту модель.
- Используются лишь внесенные данные и методики для расчетов.
- Сложность расчетов динамических процессов.

#### Список литературы

1. Решетникова Е.С., Усатая Т.В. Технологии САПР для оптимизации процесса обучения компьютерной графике в техническом университете // Механическое оборудование металлургических заводов. 2014. №3. С. 133-138.
2. Анцупов В.П. Теория и практика плакирования изделий гибким инструментом. Магнитогорск: МГТУ, 1999. 241 с.
3. Расширение технологических возможностей метода плакирования гибким инструментом / В.И. Кадошников, В.П. Анцупов, Р.Р. Дема и др. // Вестник машиностроения. 2003. №10. С. 64-67.
4. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Грома-

- ковский и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1(45). С. 141-146.
5. Савельева И.А., Кадошников В.И., Кадошникова И.Д. Инженерная графика. Моделирование изделий и составление конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 186 с.

УДК 669.168

**В.А. Бигеев, Ю.А. Колесников, Д.С. Сергеев**

## **МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В КОНВЕРТЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

**Аннотация.** *Представленная статья содержит описание программы, реализующей метод расчета параметров выплавки стали в кислородном конвертере с верхней продувкой. Программа была создана на основе системы балансовых уравнений, решаемых совместно методом итераций.*

*Использование данной программы позволяет достигать возможности изучения факторов, влияющих на определяемую расчетом температуру жидкого полупродукта, на расход кислорода, а также неметаллических материалов.*

**Ключевые слова:** *программа, моделирование, математическая модель, выплавка стали, конвертер, кислородно-конвертерный процесс, шихтовые материалы, неметаллические материалы.*

В 2015 г. коллективом авторов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» в составе В.А. Бигеева, Ю.А. Колесникова и Д.С. Сергеева в таблицах Microsoft Excel была создана обновленная математическая модель выплавки стали в кислородном конвертере для условий ККЦ ОАО «ММК». Кроме того, с целью получения авторского свидетельства для данной математической модели, именуемой в дальнейшем «Программа», был создан идентичный программный код в среде VBA.

Программа была основана на ранее созданной кафедрой МЧМ математической модели, в которой расчет велся на 100% металлошихты (кг/100 кг), после чего выполнялся пересчет на вместимость агрегата, реальные расходы материалов и т.д.

Стандартно, программа составлена на основе системы балансовых уравнений, которые решаются совместно методом итераций [1]. Однако при расчете состава и количества шлака масса железа, участвующая в процессах шлакообразования, определяется по балансу кислорода с учетом состава шлака по паспортным данным. Кроме того, расходы материалов на плавку и количества продуктов плавки использовались в реальных данных.

Новая математическая модель была адаптирована к условиям ККЦ ОАО «ММК» при производстве трубных сталей класса прочности K60 (X70).

С целью настройки модели задействовали паспортные данные 50 плавок, проведенных с ноября 2013 г. по январь 2014 г. Паспортные данные по этим ста-

лям наиболее полные и с высокой вероятностью достоверные. Проведена минимизация отклонений фактических и расчетных значений контролируемых параметров плавки (количество чугуна, лома, извести, доломита, кислорода и др. на плавку, составов металла и шлака и пр.), что позволило с высокой точностью откорректировать механизм расчета [2].

Для адаптации математической модели использовалась модель по методу В.Н. Селиванова (см. рисунок).



Схема адаптации математической модели по методу В.Н. Селиванова

В целом обновленная программа более полно учитывает материалы, участвующие в процессе плавки, что позволило значительно ее расширить (возможность учета скрапа, сидерита и т.д.). В частности, благодаря данной программе удалось показать возможность использования сидерита как материала для шлакообразования в конвертере, а также появилась возможность расчета плавки с использованием скрапа и дополнительных неметаллических материалов.

Упущением в устаревшей модели являлось разделение этапов расчета по листам Microsoft Excel (на первом листе содержались данные о металлических материалах, на втором – о неметаллических, на третьем выводились результаты и т.д.). Это усложняло структуру самой модели – взаимосвязь между ячейками с данными и итерационные расчеты, поскольку связующие формулы содержали отсылки к разным листам. В новой программе этот недостаток был устранен и пользователю изначально на едином листе предоставляется вся структура задаваемых изначально данных и рассчитываемых параметров плавки, что возводит визуализирующую составляющую на качественно новый уровень.

В новой программе с целью повышения удобства использования была проведена структуризация этапов расчета в виде интерфейсных блоков с подробными пояснениями в областях ввода исходных данных и вывода, получаемых расчетом параметров плавки, что позволило достичь простоты и удобства использования.

Глобально были усовершенствованы компактность и наглядность интерфейса, включая реализацию цветового разделения входных и выходных данных. Так, вводимые данные паспорта плавки обозначаются синим цветом, а рассчитываемые параметры – зеленым. Неконтролируемые параметры плавки, за счет которых настраивается модель и которые можно изменять на 3–4 единицы (или в более широких пределах в случае необходимости) с целью более точной настройки программы, выделены красным цветом. Адекватность и точность настройки программы проверяется по минимальным отклонениям расчетных значений температуры готового металла и его массы от паспортных [3].

Программа позволяет решать исследовательские задачи (пример применения сидерита в шихте кислородного конвертера), поскольку при использовании реальных паспортных данных плавки появляется возможность анализировать соответствие модели реальным условиям, настраивать ее на реальный процесс, добиваясь тем самым точности рассчитываемых показателей, таких как материальный и тепловой баланс, состав конечного шлака, состав шлака для нанесения гарнижа и т.д. [6].

Реализована возможность изучения факторов, влияющих на расчетную температуру жидкого полупродукта, на расход кислорода, неметаллических материалов и т.д.

Благодаря модели были определены охлаждающие эффекты различных материалов, которые использовались на плавку. Так, 1% лома (4 т) от массы металлошихты снижает температуру металла на 14°C, известняка – на 28°C, сырого доломита – на 31°C, ожелезненного – на 14°C, окатышей – на 50°C и сидерита – на 37°C. По охлаждающему эффекту 1 т сидерита заменяет 2,6 т металлического лома или 1,3 т известняка [5].

#### Список литературы

1. Бигеев В.А., Колесников Ю.А. Прогнозирование технологических параметров выплавки стали в конвертере с использованием сидерита // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2011. Вып. 11. С. 30–36.
2. Колесников Ю.А. Расчет расхода лома на плавку стали в конвертере с использованием электронных таблиц // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Вып. 6. С. 34–39.
3. Современные возможности развития расчетов плавки стали на персональных компьютерах / В.Н. Селиванов, Ю.А. Колесников, Б.А. Буданов и др. // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2003. Вып. 3. С. 51–58.

4. Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Сергеев Д.С. Состояние и перспективы использования сидеритовых руд бакальского месторождения в черной металлургии // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2013. Вып. 1(13). С. 6–8.
5. Колесников Ю.А., Бигеев В.А., Сергеев Д.С. Расчет технологических параметров выплавки стали в конвертере с использованием различных охладителей // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2014. Вып. 2(15). С. 45–47.
6. Ключковский С.П., Смирнов А.Н., Савченко И.А. Разработка физико-химических основ комплексного использования высокомагнезиальных сидеритов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №1(49). С. 26.

УДК 669.184.046.5

**В.А. Бигеев, А.О. Николаев**

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРОДА В СТАЛИ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Аннотация.** Проанализировано изменение содержания водорода на всех этапах производства стали, и на основе полученных зависимостей, физико-химических и термодинамических закономерностей в среде Visual Basic for Applications для Microsoft Excel 2010 создана динамическая модель изменения содержания водорода в жидкой стали в зависимости от технологических факторов и удаления водорода во время циркуляционного вакуумирования.

**Ключевые слова:** водород, жидкая сталь, вакуумирование, скорость циркуляции, твердая шлакообразующая смесь, ферросплавы, компьютерное моделирование.

В ходе проведенных исследований было установлено, что водород оказывает значительное влияние на качество стали. Для стабильного достижения необходимого содержания водорода нужно учитывать все основные факторы, его определяющие [1]. Кроме того, основным способом снижения содержания водорода в стали является вакуумирование. Поэтому для автоматизации процесса получения стали с заданным содержанием водорода и исключения влияния человеческого фактора необходимо создать математическую модель изменения содержания водорода в стали и расчета параметров вакуумной обработки.

Для расчета длительности вакуумирования и сравнения статистических зависимостей с теоретическим случаем удаления водорода из стали в среде Visual Basic for application для Microsoft Excel 2010 была создана динамическая модель получения нормированного содержания водорода в стали. Данный язык програм-



мирования и среда разработки были выбраны для простоты и наглядности представления и воспроизведения в исследовательских целях. При необходимости внедрения данной разработки в производственных условиях программа может быть легко воспроизведена в среде C++ и MySQL, что легко обеспечивает интеграцию с большинством современных систем АСУ предприятий.

Модель состоит из двух блоков: блока настройки модели и непосредственно блока расчета содержания водорода и времени вакуумирования, реализованного для четырех случаев, подразумевающих разные производственные циклы (Конвертер-УПК-УВС-УПК-Разливка, Конвертер-УПК-УВС-Разливка, Конвертер-УВС-УПК-Разливка и Конвертер-УПК-Разливка).

В результате анализа литературных источников было установлено, что основным механизмом удаления газов при циркуляционном вакуумировании является кинетический механизм. Согласно формулам, предложенным Г. Кньюппелем [2], удаление водорода за время  $t$  с учетом правила смешения описывается формулой

$$([H]_2 - h_n)/([H]_1 - h_n) = e^{-\beta t}, \quad (1)$$

где  $[H]_1$  и  $[H]_2$  – концентрация газа в металле, втекающем в вакуумную камеру в момент времени  $t=0$  и  $t$  соответственно, ppm;  $h_n$  – равновесная концентрация газа в стали, находящейся в вакуумной камере, ppm;  $t$  – длительность вакуумирования, с.

В данной формуле коэффициент, определяющий влияние факторов на удаление металла  $\beta$ , определяется как

$$\beta = [(V/V_1 - 1)(V_1/V_2 + V_1/(k \cdot F))]^{-1}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент массопереноса, м/с;  $V$  – объем металла в ковше, м<sup>3</sup>;  $V_1$  – объем металла в вакуумной камере и патрубках, м<sup>3</sup>;  $V_2$  – объем металла, протекающего в единицу времени через вакуумную камеру, м<sup>3</sup>/с;  $F$  – площадь поверхности металла в вакуумной камере, м<sup>2</sup>.

Объем металла, протекающего в единицу времени через вакуумную камеру может быть рассчитан следующим образом:

$$V_2 = k \cdot F_0, \quad (3)$$

$F_0$  – площадь патрубков вакуум-камеры, м<sup>3</sup>.

Выражая из формул (1) - (3) коэффициент массопереноса  $k$ , было получено:

$$k = - \frac{(F+F_0)(V-V_1) \ln B}{F t F_0}, \quad (4)$$

где  $B = ([H]_2 - h_n)/([H]_1 - h_n)$ .

Влияние факторов вакуумной обработки на скорость циркуляции, в частности, рассматривалось в работах Е.Б. Агапитова [3]. Для анализа и настройки модели расчетный коэффициент массопереноса сравнивается с реальной массовой скоростью циркуляции. Наиболее адекватным и применимым в расчетах является уравнение массовой скорости циркуляции, предложенное Т. Кувабарой [4] в результате обобщения результатов холодного моделирования различных авторов и сравнения его с реальными условиями:

$$Q(t/\text{min}) = 11,4G_r^{1/3} d_{\text{ПТ}}^{4/3} (\ln(P_1/P_2))^{1/3}, \quad (5)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – давление в точке ввода транспортирующего газа и газа в вакуум-камеру соответственно, Па;  $G_r$  – расход транспортирующего газа, л/мин;  $d_{\text{ПТ}}$  – диаметр погружных патрубков, м.

Настройка модели происходит посредством многократного расчета поправочного коэффициента  $X$  для скорости циркуляции и его усреднением:

$$X = \frac{kF_0\rho 60}{11,4G_r^{1/3} d_{\text{ПТ}}^{4/3} (\ln(P_1/P_2))^{1/3}}, \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность жидкой стали, т/м<sup>3</sup>.

Данный коэффициент многократно рассчитывается, усредняется и записывается в модель для дальнейших расчетов. Он характеризует увеличение площади поверхности металла за счет брызгообразования и дополнительное удаление водорода за счет неучтенных механизмов. Кроме того, блок служит для задания параметров существующей вакуумной камеры для дальнейших расчетов.

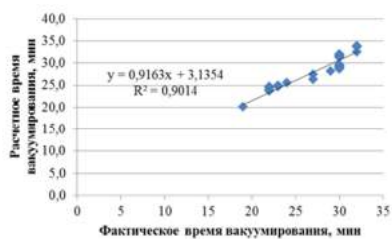
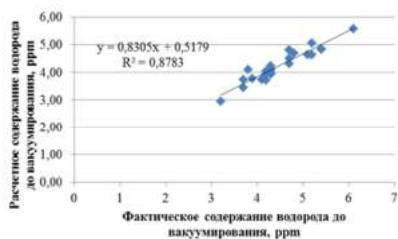
Расчет времени вакуумирования для предварительно настроенной модели с заданными параметрами вакуумной камеры осуществляется, исходя из необходимого удаления водорода:

$$t = \left( - \frac{3,915 \cdot 60 \cdot \rho \cdot (F + F_0) \cdot (V - V_1) \cdot \ln\left(\frac{[H]_2 - h_n}{[H]_1 - h_n}\right)}{F \cdot F_0 \cdot X \cdot 11,4 \cdot \text{Ar}^{1/3} \cdot d_{\text{ПТ}}^{4/3} \left(\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\right)^{1/3}} \right)^{3/2}, \quad (7)$$

где  $\text{Ar}$  – расход аргона на вакуумирование, л.

В основе расчета начального содержания водорода в стали лежит прирост содержания водорода из материалов, присаживаемых во время выпуска металла из конвертера и во время обработки на установке «печь-ковш». В основе расчета увеличения содержания водорода во время разливки плавки и требуемого содержания водорода лежат эмпирические зависимости, полученные в ходе предварительных исследований [5, 6].

Для случая с отсутствием вакуумирования программа рассчитывает содержание водорода в промежуточном ковше и требуемое содержание водорода для минимизации образования дефектов. Ключевые технологические данные (номер плавки, начальное содержание водорода до обработки, содержание водорода перед вакуумированием или после обработки на УПК, абсолютная влажность воздуха, требуемое содержание водорода, расход аргона, разрежение в вакуум-камере и рассчитанное время вакуумирования) вместе с указанием режима обработки фиксируются на листе «Результаты расчета» и пригодны для последующей обработки. В соответствии с параметрами 26 плавки класса прочности K56 была проведена апробация и настройка полученной модели. На рисунке представлено сравнение фактических и рассчитанных с помощью модели параметров (содержания водорода до вакуумирования (а) и времени вакуумирования (б)).



Сравнение результатов моделирования содержания водорода до вакуума (а) и фактической длительности вакуумирования (б) с фактическими значениями

На этом рисунке по осям абсцисс были взяты фактические значения, а ординат – соответствующие им расчетные. Были построены линейные линии тренда. Отклонение между расчетными и производственными данными составляет 5% для расчета времени вакуумирования и 6,2% для расчета содержания водорода в стали.

На основании данных, полученных в ходе исследований, и теоретических основ вакуумирования была создана динамическая модель расчета времени вакуумирования, исходя из факторов обработки в программной среде Visual Basic for application для Microsoft Excel 2010, а также визуальный интерфейс для данной модели. Исходя из апробации модели, она была признана адекватной и рекомендуется к внедрению в производственных условиях для оптимизации процесса вакуумирования стали и автоматизации расчета времени вакуумирования и содержания в стали водорода для минимизации отсортировки стали.

#### Список литературы

1. Бигеев В.А., Николаев А.О. Факторы, влияющие на содержание водорода в кислородно-конвертерной стали // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр./ под ред. Колокольцева. Вып. 12. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2012. С.75-78.
2. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали: пер. с нем. Ч.2. Основы и технология ковшовой металлургии. М.: Металлургия, 1984. 414 с. с ил.
3. Агапитов Е.Б. Энергосбережение при струйно-плазменной обработке расплава стали // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4 (36). С. 88–90.
4. Kuwabara, T. Investigation of Decarburization Behavior in RH-reactor and Its Operation Improvement / T. Kuwabara, K. Umezava, K. Mori, H. Watanabe// Transactions ISIJ. 1988. №28. P. 305-309
5. Николаев А.О., Бигеев В.А., Сычков А.Б. Влияние производственных факторов на насыщение стали водородом // Электрометаллургия. 2014. № 1. С.15-21.
6. Николаев А.О., Бигеев В.А., Брусникова А.В. Особенности производства низкосернистой стали с ограниченным содержанием водорода // Сталь. 2014. №5. С.18-20.

Д.Э. Галлямов, В.А. Харитонов

## ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАНИЯ СПОСОБОВ ОМД

**Аннотация.** В работе показаны преимущества использования комбинированных способов при изготовлении проволоки. Предложен комбинированный способ волочения, реализуемый в модулях «роликовая волока – монолитная волока», позволяющий повысить пластические свойства проволоки. Выполнено экспериментальное и компьютерное исследование предложенного способа.

**Ключевые слова:** волочение, монолитная волока, роликовая волока, комбинированный способ, компьютерное моделирование.

В условиях современного рынка, насыщенного продукцией разных производителей, конкурентоспособность проволоки становится важнейшей проблемой метизного производства. Одним из условий обеспечения конкурентоспособности стальной проволоки является использование таких производственных методов, которые позволяли бы получать проволоку лучшего качества при меньших затратах. Эта задача может быть решена только за счет усовершенствования существующих технологий и внедрения инноваций в действующее производство.

Стальная проволока традиционно изготавливается способом волочения в монолитных волоках на многократных прямоточных или блочных с накоплением волочильных станах. Другие способы производства проволоки, например, волочение в роликовых волоках, безфильерное волочение или с наложением ультразвуковых колебаний, широкого применения в промышленности не получили. Поэтому традиционный способ волочения остается основным способом производства проволоки.

Несмотря на имеющиеся преимущества, традиционное волочение обладает существенными недостатками, основными из которых являются контактное трение на границе металла и волоки, а также дополнительный сдвиг поверхностных слоев относительно центральных, что является причиной их излишнего упрочнения. В результате снижается пластичность проволоки, ограничивается число переходов при волочении, величина единичных и суммарных обжатий, повышаются усилие волочения и расход энергии.

В технологических процессах производства проволоки основную роль играет способ ОМД, определяющий во многом как качество проволоки, так и затраты на её изготовление.

Эффективным способом снижения себестоимости производства проволоки, как одного из основных факторов обеспечения ее конкурентоспособности, комбинирование базовых способов ОМД в единый интегральный процесс. Основными базовыми процессами в обработке металлов давлением являются прокатка, прессование, волочение, осадка. Эти процессы характеризуются определенной схемой напряженно-деформированного состояния с одной из основных схем деформации. В комбинированных сочетается несколько схем деформации, реализуемых в объеме металла, за счет их взаимодействия

образуется процесс, обладающий новым комплексом свойств и в большинстве случаев исключаящий недостатки совмещаемых [1, 2].

Применение комбинированных технологий позволяет одновременно с повышением качества проволоки обеспечить значительное сокращение издержек производства за счет увеличения производительности оборудования и снижения энергозатрат. Именно поэтому комбинированные технологические процессы являются перспективным направлением совершенствования производства стальной проволоки.

Разработка подобных процессов ведется уже не первый год. Так комбинирование прокатного стана и волочильной машины позволило создать установку для изготовления совмещенным способом тонкой проволоки из легированных сталей и профилей [3]. Разработанная в конце 80-х годов в МГМИ (сейчас МГТУ им. Г.И. Носова) технология изготовления стальной проволоки, заключающаяся в прокатке заготовки в многовалковых калибрах с отделочной операцией калибровки на готовый размер в монолитной волоке была успешно опробована на БМК [4]. Изготовленная этим способом пружинная проволока диаметром 8,00 мм имела более высокий уровень и равномерность механических свойств, чем холоднотянутая.

Из практики сталепроволочного производства известно, что с увеличением диаметра протягиваемой проволоки обеспечение высоких значений прочности и пластичности при традиционном волочении затруднено из-за влияния масштабного фактора. Для решения этой проблемы в работе [5] предложен новый технологический процесс, использующий комбинированный способ волочения, реализуемый в модулях «роликовая кассета – монолитная волока» (см. рисунок). В предлагаемом процессе деформация распределяется между неприводной роликовой кассетой клетью и монолитной волокой, что позволяет применять более высокие единичные обжатия по сравнению с традиционным волочением в монолитных волоках. Последовательное изменение схемы деформации инициирует эффект Баушингера, который будет способствовать улучшению свойств стальной проволоки. Совмещение в единый модуль неприводной роликовой клетки и монолитной волоки позволяет использовать для протяжки один привод и снизить энергозатраты [6].

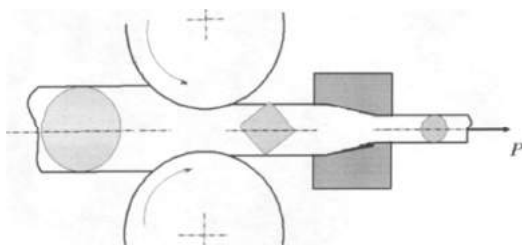


Схема комбинированного способа «прокатка-волочение»

Волочение в линии, составленной из предлагаемых двоярных блоков, т.е. в линии, в которой будет реализован принцип многократного чередования двух различных схем деформации, позволит обеспечить высокий уровень свойств готовой проволоки. Кроме того, предлагаемый процесс более экологичен, т.к. поз-

воляет использовать механические способы удаления окалины и меньшее количество волоочильных смазок.

Выполненные эксперименты подтверждают, что комбинированный способ позволяет получать стальную проволоку более высокого качества, чем традиционный [5, 7]. Образцы проволоки диаметром 4,00 и 5,00 мм из стали марок 70 и 75 соответственно были изготовлены двумя способами: традиционным волочением в монолитных волоках и совмещенным способом «прокатка-волочение». Далее был проведен сравнительный анализ механических свойств.

По результатам испытаний механических свойств у проволоки диаметром 4,0 мм, изготовленной комбинированным способом, отмечался рост числа перегибов в среднем на 15,9%, а числа скручиваний – на 14,6%. Это свидетельствует о ее лучшей проработке по сечению и большей равномерности механических свойств по длине. Проволока диаметром 5,0 мм, полученная способом «протяжка-волочение», при равных значениях удлинения, сужения и предела прочности выдержала большее число скручиваний на 8,9%.

Дополнительно для оценки преимуществ совмещенного способа было проведено компьютерное моделирование методом конечных элементов в программном комплексе DEFORM-3D процессов волочения в монолитных волоках и предлагаемого совмещенного процесса. Для этого были приняты следующие условия: процесс является симметричным, рабочий инструмент абсолютно жесткий, материал проволоки изотропный, деформируемая среда – пластическая. Рабочий угол волок 12°, диаметр неприводных роликов 100 мм. Процесс деформации происходит при постоянной температуре.

Было выполнено моделирование следующих маршрутов волочения:

- в монолитных волоках 6,60 – 5,70 – 5,00 мм;
- совмещенным способом 6,60 – 5,70х5,70 – 5,00 мм.

В результате компьютерного моделирования получены следующие результаты.

Среднее суммарное усилие волочения при стандартной технологии составляет 1,9 т; при совмещенном процессе – 1,45 т, т.е. совмещенный процесс энергетически более выгоден. При волочении в две протяжки на стандартной волоочильной машине типа 2500 будет явная недозагрузка электродвигателей. Совмещение позволяет выполнить обжатие 42,6% за один проход, причем загрузка двигателя составит 58%, т.е. имеется резерв для осуществления еще большей деформации.

Прогноз обрывности по критерию Cockroft-Latham благоприятен как для стандартного волочения, так и для совмещенного процесса.

Напряжение волочения при стандартном процессе несколько ниже, чем при совмещенном. Однако при стандартном волочении – это напряжение волочения при обжатии 23% во второй волоке (вторая протяжка), а при совмещенном процессе – при обжатии 42,6% в одну протяжку.

Таким образом, комбинирование технологических процессов позволяет эффективно управлять процессом формирования свойств проволоки, снижает энергозатраты, расширяет возможности волоочильного оборудования [7, 8]. Предложенный способ легко реализуется на любом волоочильном оборудовании и без существенных затрат. Разработка и реализация комбинированных процессов является важной задачей, позволяющей улучшить технико-экономические показатели процесса, обеспечить получение высококачественной стальной проволоки и повысить ее конкурентоспособность.

## Список литературы

1. Данилин Г.А., Огородников В.П. Теория и расчеты процессов комбинированного пластического формоизменения / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2004. 304 с.
2. Основы технологических процессов обработки металлов давлением. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: конспект лекций / С.Б. Сидельников, Р.И. Галиев, Д.Ю. Горбунов и др. Электрон. дан. (3 Мб). Красноярск: ИПК СФУ, 2008. 95 с.
3. Ohlwein Klaus. Wickeln, Spulen, Walzen, Ziehen. «Draht» 1984. 35. №10. 537-540.
4. А.с. 1424900 СССР, МКНЗ В21С1/00 Способ производства стальной проволоки или прутков / Б.А. Никифоров, Вен. А. Харитонов, Вик. А. Харитонов и др. (СССР). Опубл. 23.09.88, Бюл. №35. 10 с.
5. Харитонов В.А., Галлямов Д.Э. Анализ влияния способа деформации на уровень свойств стальной проволоки // Качество в обработке материалов. 2014. №1. С. 42-47.
6. Харитонов В.А., Галлямов Д.Э. Энергосбережение при производстве стальной проволоки совмещенным способом «протяжка-волочение» // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под. ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Вып. 20. С. 231-236.
7. Харитонов В.А., Галлямов Д.Э. Оценка эффективности изготовления стальной проволоки совмещенным способом «прокатка-волочение» // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2014. №12. С.15-21.
8. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Состояние и направления развития непрерывных способов наноструктурирования круглой проволоки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №3. С. 69-73.

УДК 622.788.36

Д.Р. Ганин, В.Г. Дружков, А.А. Панычев, А.Н. Шаповалов

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКОМКОВАНИЯ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ В ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»

**Аннотация.** Приведены зависимости, иллюстрирующие влияние параметров окомкования на средний эквивалентный диаметр гранул окомкованной аглошихты и ее насыпную плотность. Полученные зависимости пригодны для прогнозирования результатов окомкования аглошихты при спекании руд и концентратов Курской магнитной аномалии в ОАО «Уральская сталь».

**Ключевые слова:** окомкование аглошихты, содержание влаги, крупность, насыпная плотность.

В работах [1, 2] получена математическая модель расчета удельной производительности агломашины:

$$G = \sqrt{(p/d)^{1+k} \cdot (h\rho)^{1-k} \cdot \tau^k},$$

- где  $G$  – удельная производительность агломашины, кг/(м<sup>2</sup>·с);  
 $p$  – общее газодинамическое сопротивление слоя аглошихты, кг/(с<sup>2</sup>·м);  
 $h$  – высота слоя аглошихты, м;  
 $\rho$  – насыпная плотность аглошихты, кг/м<sup>3</sup>;  
 $d$  – средний эквивалентный диаметр гранул окомкованной аглошихты, м;  
 $\tau$  – продолжительность процесса спекания аглошихты, с;  
 $k$  – показатель степени.

Для использования модели при прогнозировании производительности агломашины при спекании руд и концентратов КМА в ОАО «Уральская сталь» необходимо определить средний эквивалентный диаметр гранул окомкованной аглошихты и ее насыпную плотность по исходному гранулометрическому составу шихты (перед окомкованием) и режиму окомкования.

В ОАО «Уральская сталь» для окомкования шихты используют цилиндрические барабаны диаметром 2,8 м, длиной 6 м, углом наклона 1°30'. Скорость вращения барабана составляет 6 об/мин, а подача воды осуществляется в первой трети окомкователя струйным распылением.

Проанализировав работы [3–7], приняв конструктивные и технологические параметры работы вращающегося цилиндрического барабана-окомкователя постоянными (кроме содержания влаги в шихте до и после окомкования), предположили, что в качестве исходных данных для прогнозирования результатов окомкования (при постоянных компонентном составе исходной шихты и температуре шихты при грануляции) можно использовать: гранулометрический состав шихты перед окомкованием и содержание влаги после окомкования.

Для изучения влияния указанных параметров на результаты окомкования в июне – октябре 2014 г. в аглоцехе ОАО «Уральская сталь» был проведен эксперимент, заключающийся в отборе проб шихты и исследовании ее параметров до и после окомкования. Во время отбора фиксировался текущий состав шихты, а пробы исследовались на гранулометрический состав, влажность и насыпную плотность. Условия и результаты исследования шихты приведены в табл. 1 и 2.



Таблица 1

## Расход шихтовых материалов на 1 т агломерата

Материал	Расход, кг/т*	Материал	Расход, кг/т*
Аглоруда Бакальского рудоуправления	$\frac{89,93 \div 139,35}{115,89}$	Колошниковая пыль	$\frac{14,11 \div 28,58}{23,49}$
Аглоруда Михайловского ГОКа	$\frac{139,59 \div 157,93}{150,65}$	Окалина	$\frac{3,70 \div 7,36}{5,87}$
Концентрат Михайловского ГОКа	$\frac{581,22 \div 642,23}{606,95}$	Доменный присад (ДПО5)	$\frac{1,43 \div 5,64}{4,74}$
Шлам УОШ	$\frac{20,23 \div 20,31}{20,26}$	Известняк	$\frac{162,81 \div 208,83}{178,58}$
Отсев агломерата и окатышей	$\frac{33,01 \div 53,95}{37,47}$	Известь	$\frac{24,15 \div 30,00}{28,50}$
Мелочь брикетов	$\frac{0 \div 35,85}{27,54}$	Твердое топливо	$\frac{41,18 \div 42,44}{41,87}$

\*В числителе – интервал изменения, в знаменателе – среднее значение.

Таблица 2

## Параметры аглошихты до и после окомкования

Параметры аглошихты		Значение*	
		перед окомкованием	после окомкования
Насыпная плотность аглошихты, кг/м <sup>3</sup>		$\frac{1554,00 \div 1792,00}{1652,09}$	$\frac{1658,00 \div 1816,30}{1735,40}$
Влажность аглошихты, %		$\frac{2,25 \div 4,93}{3,86}$	$\frac{7,30 \div 9,23}{8,14}$
Фракционный состав аглошихты, %	+ 10 мм	$\frac{2,85 \div 7,16}{4,72}$	$\frac{7,85 \div 16,18}{11,40}$
	5 – 10 мм	$\frac{3,96 \div 9,50}{7,05}$	$\frac{10,18 \div 18,79}{13,79}$
	3 – 5 мм	$\frac{4,29 \div 10,11}{7,32}$	$\frac{14,46 \div 26,79}{19,02}$
	1 – 3 мм	$\frac{18,73 \div 27,81}{22,54}$	$\frac{29,92 \div 51,07}{38,88}$
	0 – 1 мм	$\frac{52,43 \div 65,85}{58,36}$	$\frac{6,61 \div 29,25}{16,92}$
Средний эквивалентный диаметр гранул аглошихты**, мм		$\frac{1,69 \div 2,53}{2,15}$	$\frac{3,34 \div 4,97}{4,08}$

\*В числителе – интервал изменения, в знаменателе – среднее значение.

\*\*Рассчитан по формуле:  $d_{cp} = \sum_{i=1}^n g_i \cdot d_i / \sum_{i=1}^n g_i$ , где  $g_i$  – массовая доля

отдельных фракций, %;  $d_i$  – среднеарифметическая крупность соответствующих фракций, мм;  $n$  – общее число фракций.

По полученным данным были найдены зависимости, иллюстрирующие влияние параметров окомкования аглошихты на средний эквивалентный диаметр гранул окомкованной аглошихты и ее насыпную плотность (табл. 3).

Таблица 3

Зависимости, иллюстрирующие влияние параметров окомкования на его результаты

Зависимость	$R^2$	$R$
$d_o = -1,6479 d_H^2 + 7,797 d_H - 4,9978$	0,1428	0,378
$d_o = -0,1507 w_o^2 + 3,0855 w_o - 11,009$	0,533	0,73
$d_o = -2,083 + 0,5613 d_H + 0,6088 w_o$	0,5848	0,7647
$d_o = -44,04 + 16,21 d_H + 6,819 w_o -$ $-4,191 d_H^2 - 0,4129 w_o^2 + 0,2733 d_H \cdot w_o$	0,7546	0,8687
$\rho_o = 22,452 w_o^2 - 314,32 w_o + 2800,1$	0,5407	0,735
$\rho_o = -34,02 w_o^2 + 330,05 w_o + 962,21$	0,4106	0,641

Примечание.  $d_o$  – средний эквивалентный диаметр гранул окомкованной аглошихты, мм;  $\rho_o$  – насыпная плотность окомкованной аглошихты, кг/м<sup>3</sup>;  $d_H$  – средний эквивалентный диаметр гранул шихты перед окомкованием, мм;  $w_o$  – содержание влаги в окомкованной аглошихте, %.

Взаимный учет влияния среднего эквивалентного диаметра гранул шихты перед окомкованием и содержания влаги в окомкованной аглошихте позволяет с более высокой степенью достоверности прогнозировать среднюю крупность гранул окомкованной аглошихты, чем частные зависимости среднего эквивалентного диаметра гранул окомкованной аглошихты от тех же параметров. Наибольшая достоверность для прогнозирования насыпной плотности окомкованной аглошихты получена при использовании ее зависимости от содержания влаги в окомкованной аглошихте.

Полученные зависимости пригодны для прогнозирования результатов окомкования аглошихты по контролируемым входным параметрам компонентов аглошихты (крупность) и режиму увлажнения, измеренному в процессе подготовки шихты к спеканию.

#### Список литературы

1. Паньчев А.А., Ганин Д.Р. Оптимизация содержания MgO в шихте аглодоменного производства // *Металлург*. 2011. № 12. С.32-35.
2. Ганин Д.Р., Паньчев А.А. Новая математическая модель агломерационного процесса // *Металлург*. 2013. № 5. С.44-47.
3. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Введение в технологии металлургического структурообразования. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 501 с.

4. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ – УПИ», 2003. 400 с.
5. Коршиков Г.В. Энциклопедический словарь-справочник по металлургии. Липецк: Липецкое издательство Госкомпечати РФ, 1998. 780 с.
6. Панычев А.А., Никонова А.П. Параметры агломерации михайловских и лебединских концентратов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 4. С.18-22.
7. Шаповалов А.Н., Овчинникова Е.В., Майстренко Н.А. Качество подготовки агломерационной шихты к спеканию в условиях ОАО «Уральская сталь» // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 1 (14). С. 6-9.

УДК 621.77

**С.А. Губанов, Д.Н. Чикишев, П.А. Стеканов**

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ УСКОРЕННОГО КОНТРОЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА КОМПЛЕКС МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРУБНОЙ СТАЛИ КАТЕГОРИИ ПРОЧНОСТИ X80**

**Аннотация.** В данной статье с помощью математического нейросетевого моделирования произведена оценка влияния ускоренного контролируемого последеформационного охлаждения на механические свойства трубной стали категории прочности X80.

**Ключевые слова:** трубная сталь, контролируемое охлаждение, ускоренное охлаждение, контролируемая прокатка, нейросетевое моделирование.

Современный магистральный газопровод является сложным объектом с жёсткими требованиями по надёжности и безопасности эксплуатации. Вследствие чего высокие требования предъявляются и к трубной стали, от качества которой зависит срок службы и стоимость эксплуатации газопровода. Обеспечение необходимого комплекса характеристик листа для труб большого диаметра возможно с применением технологии контролируемой прокатки с последующим ускоренным охлаждением [1].

Одним из важнейших рычагов управления конечными свойствами является ускоренное охлаждение (УО) листа после прокатки, целью проведения которого является получение равномерной мелкозернистой микроструктуры с ферритобейнитным фазовым составом. С увеличением категории прочности трубной стали (X70 и выше) возрастает бейнитная составляющая, вместе с этим возрастает степень влияния ускоренного охлаждения [2, 3].

Исследование такого сложного процесса, как горячая прокатка, на реальном производственном объекте зачастую невозможно из-за больших материальных и временных затрат, а также риска повреждения дорогостоящего оборудования, поэтому повсеместно используют математическое моделирование. В данной работе для описания характера влияния интенсивности ускоренного охлаждения

было использовано нейросетевое моделирование. Данные для построения и обучения нейросетей были получены со стана 5000 ОАО «ММК» в результате прокатки листа толщиной 17,5 и 20,6 мм категории прочности Х80.

Входными параметрами для расчёта будут служить следующие величины: температура нагрева сляба  $T_{нагр}$ , °С, температура начала и конца черновой прокатки  $T_{1н}, T_{1к}$ , °С, относительное обжатие на черновой стадии  $\epsilon_1$ , %, время паузы между черновой и чистовой прокаткой  $\tau_{пауз}$ , с, толщина промежуточного раската  $H_{раск}$ , мм, температура начала и конца чистовой прокатки  $T_{2н}, T_{2к}$ , °С, относительное обжатие на чистовой стадии  $\epsilon_2$ , %, температура начала и конца ускоренного охлаждения  $T_{Нохл}, T_{Кохл}$ , °С, и содержание химических элементов в стали, %.

В качестве выходных параметров были приняты: предел текучести  $\sigma_t$ , МПа, предел временного сопротивления разрыву  $\sigma_b$ , МПа, относительное удлинение  $\delta_5$ , %, работа удара по Шарпи  $KV^{10}$ , Дж, доля вязкой составляющей в изломе при испытании падающим грузом DWTT, %.

Для каждого из выходных параметров создана отдельная сеть, в свою очередь, сеть является ансамблем из 5 сетей: линейной, персептрона (трёх- и четырёхслойного), радиально-базисной функции и обобщённой регрессионной. Для построения нейросетей, исходная выборка была обработана на исключение грубых погрешностей (значений, не характерных для той или иной величины), в результате чего итоговый массив данных имеет объём в 4000 строк, в каждой из которых полный набор входных и выходных параметров [4].

Изменения показателей механических свойств с увеличением интенсивности охлаждения изображены на рис. 1, 2.

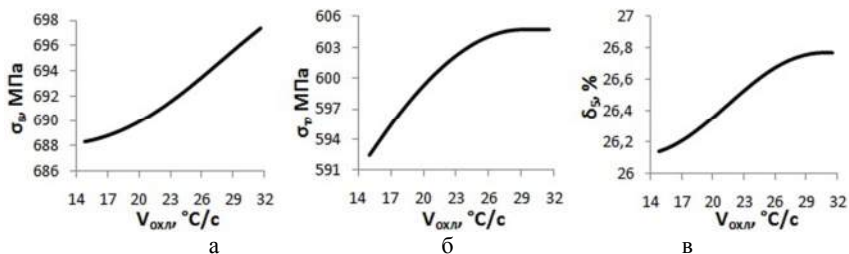


Рис. 1. График зависимости характеристик, полученных при статическом испытании образцов на разрыв от интенсивности ускоренного охлаждения: а – временное сопротивление; б – предел текучести; в – относительное удлинение

Показатели временного сопротивления и предела текучести с увеличением скорости охлаждения увеличиваются за счёт увеличения доли бейнита в фазовом составе стали, а также благодаря получению более мелкого зерна (по сравнению с охлаждением на воздухе). Плотность дислокаций в бейните в 4–5 раз больше (за счет сдвигового механизма образования), чем в феррите, что дает возможность получить дополнительный прирост прочности. С увеличением интенсивности УО с 15 до 30°С/с показатель  $\sigma_b$  возрастает на 14 МПа.

Форма кривой показывает что, при увеличении скорости последеформационного охлаждения с 16 до 30°С/с предел текучести возрастает на 12 МПа. При этом увеличение скорости УО выше 27°С/с не приводит к значительному изменению

$\sigma_t$ . Замедление роста предела текучести может говорить о том, что структура металла имеет насыщенную плотность дислокаций. Дальнейшее увеличение  $\sigma_t$  возможно только при изменении химического состава стали.

Изменение скорости охлаждения на показатель относительного удлинения оказывает незначительное влияние. При увеличении скорости охлаждения с 15 до 30°C/с величина  $\delta_5$  изменяется в пределе 0,3–0,6%. Рост показателя относительного удлинения связан с формированием более мелкого размера зерна и, следовательно, увеличением протяжённости межзёрренных границ. Уменьшение размера зерна феррита приводит к увеличению как прочностных, так и пластических характеристик [5].

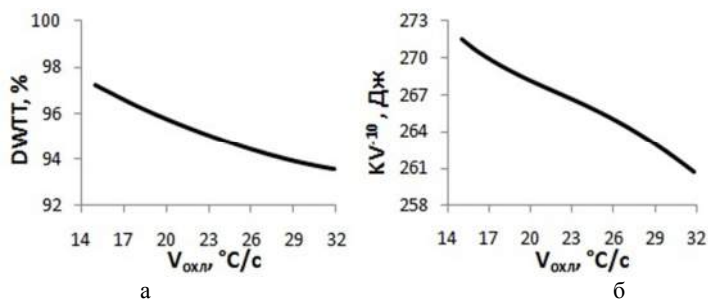


Рис. 2. График зависимости характеристик, полученных при испытании на динамический удар по Шарпи и испытании падающим грузом от интенсивности ускоренного охлаждения:  
а – доля вязкой составляющей в изломе; б – работа удара

Доля вязкой составляющей на изломе уменьшается на 4% с увеличением интенсивности УО с 17 до 30°C/с. Снижение показателя DWTT незначительно и удовлетворяет требованиям стандартов.

Показатель ударной вязкости KV<sup>10</sup> уменьшается на 13 Дж с увеличением V<sub>oxl</sub> с 16 до 30°C/с. Механизм влияния ускоренного охлаждения на ударную вязкость аналогичен влиянию на долю вязкой составляющей в изломе. Переход к бейниту, как к более искажённой кристаллической структуре, вызывает незначительное снижение показателя KV<sup>10</sup>. Однако при этом снижение происходит не ниже требуемых значений по стандартам [6].

Применение ускоренного охлаждения позволяет решить комплекс проблем, связанных с достижением необходимого уровня прочностных и вязкостных свойств проката без увеличения углеродного эквивалента, что, в свою очередь, хорошо сказывается на свариваемости трубы. Дальнейшее развитие технологии и оборудования УО связано с совершенствованием химического состава стали и корректировкой режимов контролируемой прокатки, а также с обеспечением равномерного охлаждения листа, для минимизации анизотропии свойств в объёме листа [7]. Полученная нейросетевая модель в дальнейшем может быть применена для решения задачи корректировки химического состава и технологических параметров термомеханической прокатки трубной стали категории прочности X80 на стане 5000 ОАО «ММК».

## Список литературы

1. Современное состояние производства заготовок для труб большого диаметра / В.М. Салганик, Д.Н. Чикишев, Е.Б. Блондинская, С.А. Губанов // Наука и производство Урала. 2014. №10. С. 89–91.
2. Губанов С.А., Чикишев Д.Н., Блондинская Е.Б. Контролируемая прокатка трубных сталей // Наука и производство Урала. 2014. №10. С. 82–85.
3. Изменение структуры низколегированной стали в процессе производства / С.В. Денисов, А.Н. Завалишин, Е.В. Кожевникова, М.И. Румянцев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №3. С. 51–54.
4. Румянцев М.И., Ручинская Н.А. Статистические методы для обработки и анализа числовой информации, контроля и управления качеством продукции: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 207 с.
5. Губанов С.А., Чикишев Д.Н. Ускоренное контролируемое охлаждение, применяемое на толстолистовых станах для производства высокопрочных сталей // Калибровочное бюро. 2014. №3.1. С. 4–10.
6. Методы исследования механических характеристик металлов и сплавов в процессах обработки давлением с учётом неоднородности структуры / М.П. Барышников, М.В. Чукин, А.Б. Бойко, Х. Дья, А.Б. Назайбеков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №4. С. 26–31.
7. Губанов С.А., Чикишев Д.Н., Пустовойтов Д.О. Конечно-элементное моделирование процесса ускоренного охлаждения толстолиствого проката // Современные тенденции в образовании и науке: сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. В 14 ч. Тамбов, 2014. С. 38–42.

УДК 621.771.63

**В.В. Елесина, А.Е. Кулакова, Н.М. Локотунина**

### **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОФИЛЕЙ ВЫСОКОЙ ЖЕСТКОСТИ, ПРОИЗВОДИМЫХ В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК»**

***Аннотация.** Выполнен анализ влияния состояния профилегибочных валков на качество производимых профилей высокой жесткости. Проанализированы технологические простои стана. С целью сокращения простоев и своевременного предупреждения дефектов предлагается внедрить автоматизированную систему управления валковым хозяйством.*

***Ключевые слова:** профиль высокой жесткости, обеспечение качества, технологические простои, кампания валков, автоматизированная система управления.*

В последнее время все большее распространение получают гнутые профили. Особое место среди них занимают профили высокой жесткости (ПВЖ), представляющие собой листовые профили с периодически повторяющимися продольными

или поперечными гофрами. Они являются одним из востребованных видов продукции, так как характеризуются высокой конструктивной готовностью и низкой материалоемкостью. В условиях ЛПЦ-8 ОАО «ММК» при производстве ПВЖ на профилигибочном стане (ПГС) 1-5×300-1650 возникают проблемы с обеспечением их качества.

При анализе данных по дефектам ПВЖ было выявлено, что самыми распространенными дефектами являются волнистость и несоответствие геометрических размеров профиля (рис. 1).

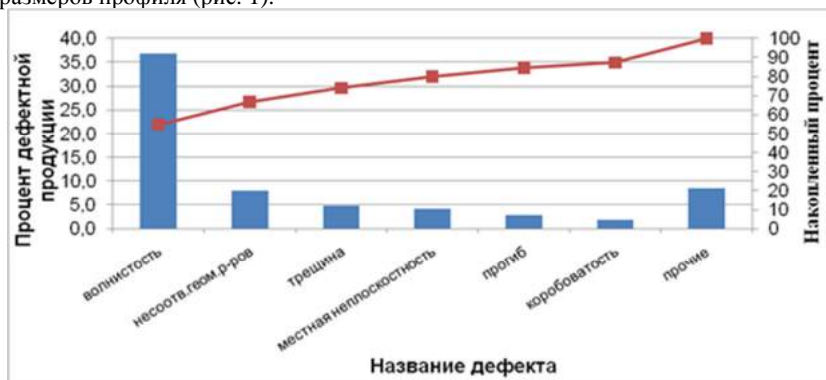


Рис. 1. Диаграмма Парето

Волнистость – это отклонение от плоскостности, при котором поверхность металлопродукции или ее отдельные части имеют вид чередующихся выпуклостей и вогнутостей, не предусмотренных формой проката [1].

Под невыполнением размеров профиля понимают несоответствие требованиям нормативной документации определенных геометрических параметров профиля. Одной из причин возникновения данных дефектов является неправильная настройка стана и износ валков.

В работах [2–9] проведены исследования, связанные с повышением качества и улучшением эксплуатационных свойств ПВЖ. В связи с применением их в конструкциях грузовых вагонов нового поколения, отличающихся повышенной надежностью и экономичностью было предложено заменить ПВЖ, используемые в качестве боковой обшивки полувагона, на профили изотропной жесткости (ПИЖ). Они обладают повышенной жесткостью и в продольном и поперечном направлениях за счет нанесения на одно и то же место заготовки как продольных, так и поперечных гофров [10]. Однако методика, используемая при разработке новых и совершенствовании существующих конфигураций гнутых профилей, не учитывает влияние текущего состояния оборудования ПГС на качество и эксплуатационные характеристики ПВЖ. Одно из основных влияний на качество ПВЖ оказывает состояние валков ПГС.

В работе были проанализированы данные по учету работы профилировки валков и по выходу несоответствующей продукции в течение соответствующей кампании валков. Один из графиков зависимости представлен на рис. 2.



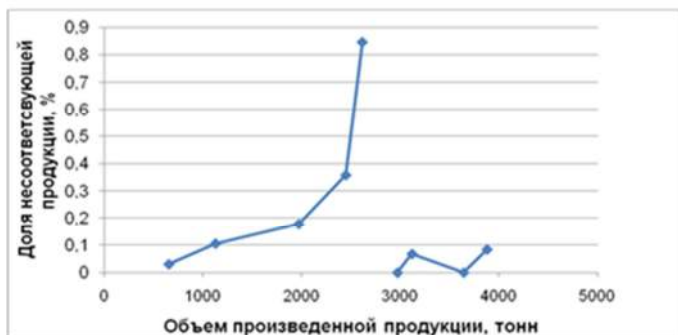


Рис. 2. Зависимость доли несоответствующей продукции от продолжительности кампании валков профилигибочного стана 1-5×300-1650 (точка разрыва – остановка в связи с калибровкой валков)

Результаты анализа показали, что после перевалки валков происходит значительное уменьшение количества дефектов прокатываемой продукции. Следовательно, необходимо своевременно выявлять отклонения от нормативных показателей состояния валков и оперативно реагировать на них.

На участке гнутых профилей ЛПЦ-8 все валки являются составными, при этом существует большой парк валков. Учет валков и их элементов осуществляется вручную, что приводит к незапланированным простоям оборудования и влияет на качество выпускаемой продукции.

На основе анализа потерь, связанных с простоями оборудования, выявлено, что наибольшее количество времени было потрачено на перенастройку ПГС и смену профиля (рис. 3). Важно отметить, что максимальное время при перенастройке ПГС отводится на перевалку валков. Причем зачастую это бывает связано с незапланированным переходом на другой профиль.

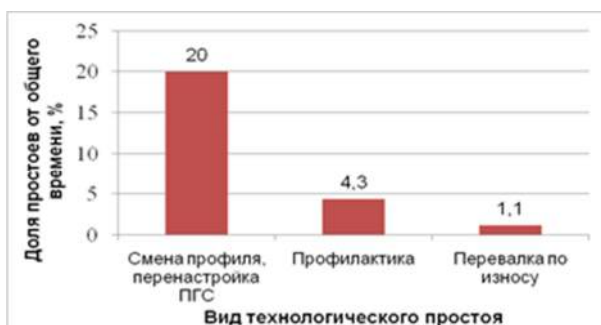


Рис. 3. Фактические значения доли простоев от общего времени работы стана

С целью сокращения простоев и своевременного предупреждения дефектов предлагается внедрить автоматизированную систему управления валковым хозяйством. Она позволяет автоматизировать процессы, связанные с учетом хранения,

эксплуатации и ремонтов прокатных валков разных типов, минимизировать ручной ввод данных и обеспечить единое представление информации, вводимой разными пользователями [11].

В нашем случае основными задачами системы будут являться:

- создание полной электронной базы валкового хозяйства;
- автоматизация функций учета движения валков, планирование перевалок, контроль состояния валкового хозяйства стана;
- автоматический расчет стойкости калибров прокатных валков на основании данных о выполнении перевалок и смене калибров.

Таким образом, автоматизированная система позволит не только устранить простои, но и предоставит возможность предотвращать дефекты посредством своевременной перевалки.

### Список литературы

1. Классификатор дефектов при производстве профилей и труб в ЛПЦ №7. Редакция №2. 2004.
2. Солодова Е.М., Шемшурова Н.Г., Локотунина Н.М. Определение утонения мест изгиба профилей изотропной жесткости // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С. 141-148.
3. Солодова Е.М., Шемшурова Н.Г., Локотунина Н.М. Оценка поврежденности металла при производстве профилей изотропной жесткости // Производство проката. 2009. №10. С. 22-26.
4. Локотунина Н.М., Шемшурова Н.Г. Упрочнение гнутых профилей в процессе производства // Новые материалы: получение и технологии обработки: тез. докл. Красноярск, 2001. С. 203-205.
5. Солодова Е.М., Шемшурова Н.Г., Локотунина Н.М. Об улучшении эксплуатационных свойств профилей высокой жесткости // Изв. вузов. Черная металлургия. 2008. №4. С. 68-69.
6. Определение энергосиловых параметров процесса формовки профилей изотропной жесткости / Е.М. Солодова, Н.М. Локотунина, Н.Г. Шемшурова, // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 146-152.
7. Оценка качества стали для производства профилей изотропной жесткости / Е.М. Солодова, Н.Г. Шемшурова, Н.М. Локотунина // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. С. 98-101.
8. Шемшурова Н.Г., Урмацких А.В., Локотунина Н.М. Организация производства специальных профилей повышенной жесткости в условиях ОАО «ММК» // Металлург. 2014. №8. С. 83-86.
9. Солодова Е.М., Шемшурова Н.Г., Локотунина Н.М. Пути улучшения потребительских свойств профиля обшивы грузового полувагона // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. №3. С. 38-41.

10. Патент 2317167 РФ, В 21 D 5/06. Гнутый профиль высокой жесткости / Антипанов В.Г., Корнилов В.Л., Шемшурова Н.Г., Локотунина Н.М., Солодова Е.М. // БИПМ. 2008. №5. С. 506-507.
11. Автоматизированная система управления валковым хозяйством прокатного стана. URL: <http://www.donix-ua.com/soft/a-4.html> (дата обращения 02.03.2015).

УДК 621.771.07

**Ю.В. Жиркин, М.А. Тесля, Е.А. Пузик**

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР ТЯНУЩИХ РОЛИКОВ КЛЕТЕЙ «КВАРТО» ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ВЯЗКОСТИ**

***Аннотация.** На основе проведённого анализа эффективности технического обслуживания подшипниковых опор тянущих роликов клетей «КВАРТО» при применении минеральных масел различных классов вязкости авторами статьи предлагается новый алгоритм подбора смазочного материала, позволяющий учитывать особенности их эксплуатации.*

***Ключевые слова:** подшипниковые опоры клетей «КВАРТО», смазочный материал.*

Для оценки эффективности технического обслуживания (ТО) подшипниковых опор тянущих роликов клетей «КВАРТО» необходимо решить ряд задач:

- 1) установить совместное влияние ряда факторов на параметры ЭГД-расчёта;
- 2) разработать алгоритм, позволяющий на основе полученных зависимостей, подбирать КВ СМ, который будет обеспечивать заданный режим трения;
- 3) на основе разработанного алгоритма произвести оценку эффективности ТО подшипниковых опор тянущих роликов и рассмотреть возможность применения различных минеральных масел, сделать соответствующие рекомендации.

Для решения поставленных задач авторами был проведен анализ эксплуатации подшипниковых опор клетей «КВАРТО» [1–5] и проведены исследования на экспериментальной установке кафедры «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова» [6]. Полученные экспериментальные данные были обработаны посредством программ MS Word, Statistika. В результате были получены зависимости рабочей температуры на контакте, и температуры смазочного материала, поступающего на контакт для обеспечения расчётной долговечности, зависящей от выбранного режима трения от двух параметров, – параметра  $\lambda$ , определяющего режим трения, и суммарной скорости качения в контакте для четырёх классов вязкости смазочного материала, полученные зависимости представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Зависимость рабочей температуры на контакте от параметра  $\lambda$  и суммарной скорости качения в контакте

Класс вязкости СМ	Рабочая температура на контакте, °С
100	$T_p=97,7879+4,9216 \cdot v-7,6547 \cdot \lambda$
220	$T_p=85,98+9,7369 \cdot v-5,715 \cdot \lambda$
320	$T_p=84,3205+10,4827 \cdot v-3,1417 \cdot \lambda$
460	$T_p=104,2831+7,296 \cdot v-4,5421 \cdot \lambda$

Таблица 2

Зависимость температуры смазочного материала, поступающего на контакт от параметра  $\lambda$  и суммарной скорости качения в контакте

Класс вязкости СМ	Рабочая температура на контакте, °С
100	$T=66,1569+0,009 \cdot v-32,2604 \cdot \lambda$
220	$T=64,1028-0,0873 \cdot v-14,9958 \cdot \lambda$
320	$T=63,5156-0,1294 \cdot v-10,7318 \cdot \lambda$
460	$T=62,5476-0,1408 \cdot v-7,5712 \cdot \lambda$

Также была определена зависимость интенсивности разогрева узла трения от суммарной скорости качения в контакте и класса вязкости смазочного материала (СМ).

Полученные зависимости были использованы в составлении алгоритма подбора СМ для обеспечения заданного режима трения, который включает несколько этапов вычислений.

На *первом* этапе происходит ввод данных. Определяются параметры прокатки: скорость прокатки, геометрия опорного и рабочего валков, усилия прокатки, величина смещения опорного и рабочего валков. Также необходимы сведения о параметрах подшипников: внутренний и внешний диаметры, параметры тел качения.

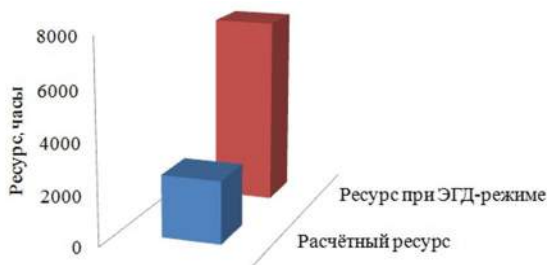
На *втором* этапе по формуле определяется значение базового расчётного ресурса [7].

На *третьем* этапе определяется режим трения и вычисляется значение ресурса ПК с учётом выбранного режима трения по методике, представленной в источнике [7].

На *четвёртом* этапе по зависимостям, представленным в табл. 1, 2, производится расчёт параметров СМ для обеспечения заданного режима трения.

На *пятом* этапе производится анализ полученных данных и делается вывод о том, какой СМ и при каких параметрах способен обеспечить заданный режим трения.

На рисунке показано, как изменится ресурс ПК подшипниковых опор тянущих роликов при реализации режима ЭГД трения.



Изменение ресурса ПК тянущих роликов при реализации ЭГД-режима трения

Как видно из рисунка, реализация заданного режима позволит в несколько раз повысить ресурс ПК. Поэтому основной задачей данного алгоритма является установление параметров СМ, необходимых для реализации заданного режима трения.

Для удобства данные параметры СМ, необходимые для реализации ЭГД-режима трения, приведены в сводной табл. 3.

Таблица 3  
 Параметры СМ, необходимые для реализации ЭГД-режима трения в ПК тянущих роликов

Параметра СМ	Класс вязкости СМ	Значение параметра
Температура подаваемого СМ, °С	100	-
	220	Не выше 18,7
	320	Не выше 30,7
	460	Не выше 39,2
Температура на контакте, °С	100	-
	220	112
	320	122
	460	123,6
Интенсивность разогрева, °С/мин	100	-
	220	12,3
	320	3,8
	460	1,9

Таким образом, при исследовании возможности применения минеральных масел различных классов вязкости для смазывания подшипниковых опор тянущих роликов стана 2000 холодной прокатки ОАО «ММК» с целью повышения их ресурса можно сделать следующие выводы: при смазывании подшипниковых опор тянущих роликов реализацию ЭГД-режима смазывания обеспечивают смазочные материалы класса вязкости 100, 220, 320. Однако применение СМ КВ с более высокой вязкостью приводит к увеличению момента сопротивления от

действия смазочного материала. Поэтому применение СМ КВ 220 при использовании интенсивного охлаждения является наиболее предпочтительным.

#### Список литературы

1. Оценка теплового состояния тянущих роликов стана 2000 холодной прокатки ОАО «ММК» / Ю.В. Жиркин, Е.И. Мироненков, Н.Л. Султанов, М.А. Шлёнкина // Механическое оборудование металлургических заводов: сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Т.3. С. 82-87.
2. Жиркин Ю.В., Пузик Е.А. Аналитически-экспериментальное определение параметров ЭГД-смазки в подшипниках качения опор рабочих валков стана 2000 горячей прокатки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 4. С. 52-56.
3. Жиркин Ю.В., Дудоров Е.А. Повышение ресурса подшипниковых узлов рабочих валков стана 2000 г.п. ОАО «ММК» // Чёрные металлы. 2012. № 11. С. 19-23.
4. Жиркин Ю.В., Мироненков Е.И. Дудоров Е.А. Работоспособность подшипников качения рабочих валков чистовой группы клетей стана горячей прокатки при их смазывании системой «масло – воздух» // Тяжёлое машиностроение. 2007. №2. С.19-20.
5. Жиркин Ю.В., Дудоров Е.А., Паршин П.Р. Модернизация подшипникового узла с целью продления его ресурса // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова. 2007. №4. С 94-96.
6. Жиркин Ю.В., Мироненков Е.И., Дудоров Е.А. Физическое моделирование режима смазки подшипниковых узлов рабочих валков прокатных станом // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 2007. №4. С 54-56.
7. ГОСТ 19855-94 (ИСО 281-89). Подшипники качения. Динамическая грузоподъёмность и расчётный ресурс (долговечность). Международный стандарт. / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1995.

УДК 621.77.07

**С.А. Кургузов, И.В. Якунина, Д.Н. Красноперов,  
И.А. Красноперова, Е.А. Бурмистрова, А.И. Бурмистров**

#### **ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВОГО РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА**

**Аннотация.** В работе предложен способ формирования «рациональной» шероховатости поверхности путем введения обработки ППД после обработки точением. Спроектирован выглаживатель для достижения этой цели. Произведены эксперименты по выглаживанию данным устройством. Получен профиль шероховатости, позволяющий аккумулировать больше смазочного материала,

что обеспечит в процессе работы инструмента гарантированный смазочный слой между трущимися поверхностями.

**Ключевые слова:** износ, штамповый инструмент, рациональная шероховатость, выглаживатель.

Экономичность штампов характеризуется стойкостью его рабочих частей. Рабочие части разделительных штампов выходят из строя по причине интенсивного износа и усталостного разрушения металла режущей кромки. Несмотря на то, что детали штампов изготавливают из высокопрочных легированных сталей и подвергают закалке на высокую твёрдость, они довольно интенсивно изнашиваются, что приводит к быстрому разрушению штампов.

Для повышения износостойкости трущихся инструментов путем уменьшения первичного износа целесообразно создавать поверхности скольжения, шероховатость которых соответствует шероховатости поверхностей приработанных инструментов [1, 2].

Наиболее благоприятный характер микропрофиля с точки зрения обеспечения минимальной величины износа – «плосковершинный», который образуется на поверхности при отделочных методах обработки: притирке, хонинговании, суперфинишировании, накатывании роликом и т.п. [3, 4].

Для формирования «рациональной» шероховатости поверхности штампового инструмента, позволяющей снизить износ по вершинам микропрофиля, но в то же время удерживающей смазку во впадинах для предотвращения сухого трения, предлагаем после механической обработки провести обработку поверхностно-пластическим деформированием (ППД) [5, 6].

Для изучения формирования рациональной шероховатости провели эксперимент. Для этого проточили образец длиной 300 мм и диаметром  $\varnothing 37$  мм из стали 9Х, закаленной до твердости HRC63, разделенный канавками, с различными подачами от  $S = 0,07$  мм/об до  $S = 0,39$  мм/об с частотой вращения  $n=500$  об/мин и глубиной резания  $t=0,1$  мм. Обработку производили резцом, оснащённым пластиной из минералокерамики ВOK60 со следующими геометрическими параметрами: радиус при вершине  $R=0,1$  мм, главный угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ . Шероховатость обработанных участков измерили с помощью профилографа-профилометра TR 200 и сфотографировали с применением инструментального микроскопа БМИ.

Для проведения обработки ППД спроектировали и изготовили обкатник-выглаживатель, который в зависимости от используемого индентора может применяться и как обкатник, и как выглаживатель. В данной работе его использовали как выглаживатель. Общий вид выглаживателя и твердосплавного индентора представлен на рис. 1.

Корпус 1 предназначен для установки выглаживателя в резцедержателе станка. Пластина 2 служит для установки индентора 3 и индикатора часового типа 4. Поворотная часть 5 оснащена опорным роликом 6, который обеспечивает базирование и центрирование индентора 3 относительно детали. Пружина 7 при затягивании гайки 8 обеспечивает необходимое усилие на контакте индентора 3 и изделия, а пружина 9 предназначена для уравнивания пластины 2. Выглаживатель позволяет обрабатывать детали диаметром от 3 до 30 мм.

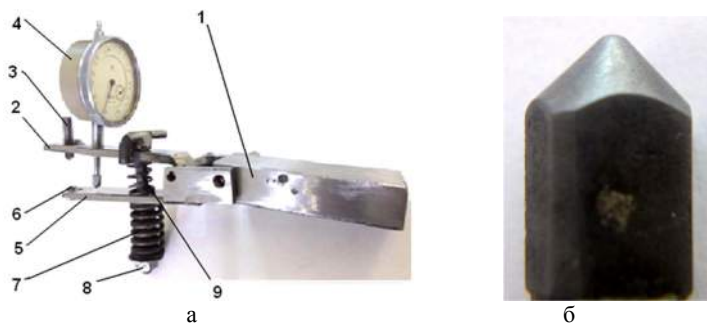


Рис. 1. Выглаживатель (а) и индентор (б)

Выглаживание проводили на токарно-винторезном станке 1К62 твердосплавным индентором с радиусом скругления  $R_{\text{и}}=0,9$  мм, с частотой вращения образца  $n=90$  об/мин. Подача на каждом участке соответствовала подаче, с которой обтачивали данный участок при механической обработке. Заданную глубину внедрения индентора рассчитывали по формуле

$$h=0,75Rz. \quad (1)$$

Рассчитанную глубину внедрения настраивали с помощью индикатора часового типа.

В результате обработки исходную шероховатость (рис. 2, а) изменили. Вершины неровностей сплющили, сформировали площадки на вершинах. В результате получили плосковершинный профиль (рис. 2, б).



Рис. 2. Профиль неровностей (увеличение  $\times 400$ ):  
а – исходный профиль; б – после обработки ППД

Полученный профиль шероховатости позволит аккумулировать больше смазочного материала, что обеспечит в процессе работы инструмента гарантированный смазочный слой между трущимися поверхностями. Кроме того, в процессе работы инструмента при наличии такого профиля увеличивается площадь контакта, а следовательно, уменьшается удельное давление по вершинам выступов. Это приводит к повышению стойкости штампового инструмента вследствие того, что разрыв масляного слоя происходит при более высоких эксплуатационных нагрузках.



## Список литературы

1. Кургузов С.А., Волков А.А., Сидоренко В.В. Формирование заданной шероховатости поверхности и упрочнение деталей при выглаживании // Кузнечно-штамповочное производство. 2009. №10. С.16-21.
2. Кургузов С.А., Гун Г.С., Шушарин Д.А. Разработка предложений по совершенствованию обработки штампов холодновысадочных автоматов с целью повышения их стойкости // Студенческая молодежь – наука будущего: сб. тез. докладов студ. науч. конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2005. С. 36.
3. Исследование влияния многострочного обкатывания на изменение параметров поверхностного рабочего слоя штампового инструмента / Н.Н. Огарков, С.А. Кургузов, И.В. Якунина и др. // Вестник. Наука и практика: сб. науч. тр. Белосток, 2014. С. 47-51.
4. Изменение параметров шероховатости поверхности металла при деформировании выглаживанием и обкатыванием / Н.Н. Огарков, С.А. Кургузов, И.В. Якунина и др.// Вестник. Наука и практика: сб. науч. тр. Белосток, 2014. С. 52-59.
5. Анализ технологий формообразования микрорельефа на поверхности трибосопряжений / С.А. Кургузов, И.В. Якунина, И.А. Красноперова и др.// Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2014: сб. науч. тр. SWorld. Одесса: Черноморье, 2014. Вып. 4. Т. 6. С. 45-49.
6. Формирование остаточных напряжений в поверхности закаленного стального инструмента при выглаживании / С.А. Кургузов, В.А. Кургузов, В.А. Сидоренко и др.// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 1. С. 52-55.

УДК 628. 344. 4

**Е.Н. Мишурова, Е.В. Юркова**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ШТАМПА**

**Аннотация.** *Выполнен анализ напряженно-деформируемого состояния и формоизменения заготовки при штамповке шайб сложной конфигурации в программном комплексе DEFORM-3D.*

**Ключевые слова:** *штамповка, компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние.*

Для оценки работоспособности штампа при производстве шайб сложной конфигурации требуется проведение большого количества натуральных экспериментов, что, в свою очередь, приводит к удорожанию производства и значительному увеличению сроков освоения новых видов продукции.

В связи с этим необходимым является оценка работоспособности штампа для производства деталей данных шайб с помощью трехмерного моделирования.

Компьютерное моделирование позволит спроектировать оптимальные технологии и конструкции инструмента, а также режимы их работы. Этому способствует высокая адекватность моделей технологического процесса, а также точное описание реологического поведения металла в условиях деформации [1–3].

Для исследования напряженно-деформированного состояния заготовки использовался специализированный программный комплекс DEFORM-3D, в основу которого положен метод конечных элементов (МКЭ).

В ходе решения задачи были приняты следующие допущения: модель материала заготовки – пластичная; материал заготовки – изотропен и однороден; материал пуансона и матрицы – абсолютно жесткий; теплообменом между инструментом и заготовкой пренебрегаем; закон трения Амонтона–Кулона постоянен на всей области контакта; кривые упрочнения при холодном деформировании практически не зависят от скорости деформации.

Задача расчёта напряженно-деформированного состояния решается в трехмерной системе координат и сводится к построению сетки конечных элементов, не противоречащей граничным условиям. Для расчета использованы временные шаги по времени и два решателя [4–6].

Геометрические модели матрицы и пуансона были созданы в CAD-системе – КОМПАС 3D, а затем экспортированы в предпроцессор программы DEFORM-3D, где были аппроксимированы сеткой конечных элементов.

В результате моделирования получили эпюры распределения средних напряжений в очаге деформации в процессе пробивки отверстия (рис. 1), в процессе вытяжки (рис. 2), в процессе рельефной формовки (рис. 3), в процессе вырубки шайбы (рис. 4).

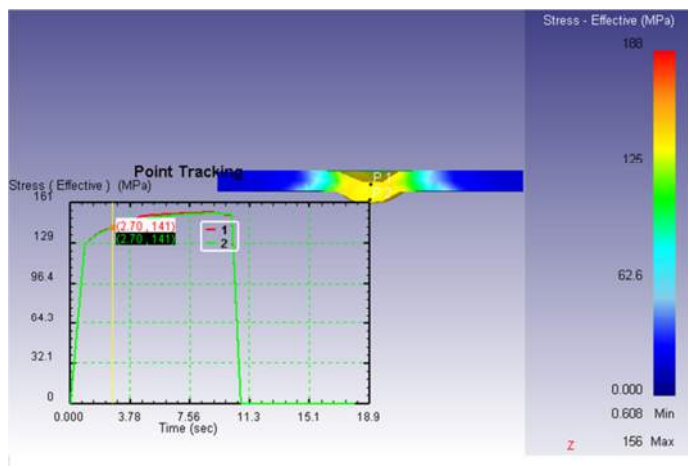


Рис. 1. Изменения напряжений в процессе пробивки отверстия (инструмент не показан)

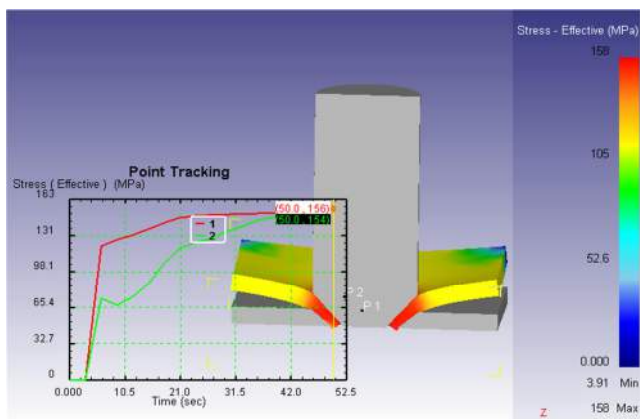


Рис. 2. Изменение напряжений в процессе вытяжки

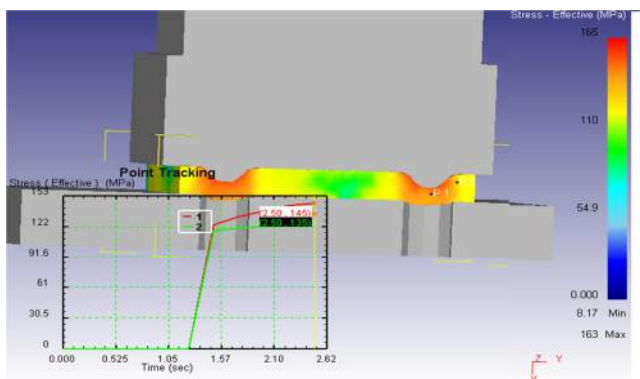


Рис. 3. Изменение напряжений в процессе рельефной формовки

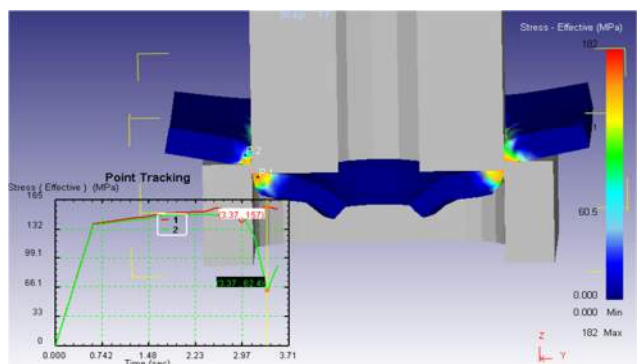


Рис. 4. Изменение напряжений в процессе вырубке шайбы

В результате выполненного исследования напряженно-деформированного слоя заготовки установлено:

1. Наиболее высокие напряжения в заготовке наблюдаются на операции вытяжки и рельефной формовки, вследствие одновременного воздействия растягивающих и сжимающих напряжений.

2. Предел прочности материала  $\sigma_v = 590$  МПа.  $\sigma_{тек} < \sigma_v$  – на всех операциях.  $\sigma_{тек} \sim 150\text{--}180$  МПа, что составляет примерно 30%  $\sigma_v$ , следовательно в процессе штамповки заготовка не разрушится.

3. Образование дефектов не обнаружено на всех операциях.

Следовательно, конструкция разрабатываемого штампа является работоспособной.

На основе моделирования был спроектирован штамп для штамповки шайб сложной конфигурации в программном комплексе КОМПАС 3D, разработана конструкторская и технологическая документация, что позволило повысить точность проектируемого инструмента, снизить количество опытных штамповок, уменьшить время доводки инструмента, сократить сроки освоения новой продукции.

#### Список литературы

1. Современные концепции разработки низколегированных сталей для топливно-энергетического комплекса России / Д.Н. Чикишев, Е.Б. Блондинская, П.С. Тарасов, К.Э. Соколова // Наука и производство Урала. 2014. №10. С. 92-94.
2. Салганик, В.М., Чикишев Д.Н., Блондинская Е.Б. Современное состояние производства заготовок для труб большого диаметра // Наука и производство Урала. 2014. №10. С. 92-94.
3. Джекко Д.А., Блондинская Е.Б., Пожидаев Ю.А. Определение демпфирующих свойств конструкционных сталей // Механическое оборудование металлургических заводов. 2013. № 2. С. 120-123.
4. Чикишев Д.Н., Пожидаева Е.Б. Математическое моделирование изменения прочностных характеристик микролегированных сталей в процессе термомодеформационной обработки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 4-3. С. 664-668.
5. Пожидаев Ю.А., Кадошников В.И., Савочкина Л.В. Проектирование демпфирующих систем для рекуперации энергии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 3. С. 80-83.
6. Моделирование микроструктуры низколегированной конструкционной стали при черновой прокатке на стане 5000 ОАО «ММК» / В.М. Салганик, А.М. Песин, С.В. Денисов, Д.Н. Чикишев и др. // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2011. № 1. С. 4-11.

**Е.В. Овчинникова, В.Б. Горбунов, А.Н. Шаповалов**

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БАКАЛЬСКИХ СИДЕРИТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАГНЕЗИАЛЬНОГО АГЛОМЕРАТА В УСЛОВИЯХ ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»**

***Аннотация.** В лабораторных условиях исследовано влияние бакальских сидеритов на показатели аглопроцесса при производстве магнезиального агломерата с содержанием MgO от 2 до 4%. Определены рациональные условия применения бакальского сидерита в качестве магнезиального компонента аглошихты, обеспечивающие улучшение показателей аглопроцесса.*

***Ключевые слова:** магнезиальный агломерат, бакальский сидерит, показатели аглопроцесса, прочность агломерата, двухкальциевый силикат.*

Сидериты Бакальского рудоуправления (БРУ), характеризующиеся высоким содержанием магнезии, находят свое применение в металлургическом производстве [1–3], однако эффективность и масштабы их использования определяются спецификой предприятий черной металлургии. Так, в ОАО «Уральская сталь» сидериты БРУ используются в качестве магнезиального компонента агломерационной шихты с расходом 120–140 кг/т, что обеспечивает получение агломерата с содержанием магнезии на уровне 1,8–2,2% [3]. Использование такого агломерата в доменной плавке при его доле в шихте ~ 70% позволяет поддерживать содержание MgO в шлаке в пределах 5–7 %.

Из литературных данных известно, что положительное влияние магнезии на физико-химические свойства шлака и технико-экономические показатели доменной плавки наблюдается с увеличением содержания MgO до 10–12% [4, 5]. В шихтовых условиях ОАО «Уральская сталь» для получения такого шлака (при доле агломерата в шихте 60–80%) необходимо повышение содержания магнезии в агломерате до 3–4%. Поэтому целью работы было изучение влияния бакальских сидеритов на показатели аглопроцесса при производстве магнезиального агломерата с содержанием MgO от 2 до 4%.

При планировании эксперимента исходили из условий получения аглоспека с MgO от 2 до 4% (с шагом 0,5 %) при двух значениях суммарной основности – 1,75 и 2,0 ед. (основность по CaO/SiO<sub>2</sub> при этом изменялась в интервале 1,35–1,78 ед.). В состав экспериментальной шихты, кроме сидерита БРУ, входили компоненты, традиционно используемые в аглоцехе ОАО «Уральская сталь». Условия и усредненные результаты опытных спеканий (каждый эксперимент повторялся 4 раза) представлены в таблице.

О стабильности условий проведения опытных спеканий свидетельствует небольшой разброс значений влажности шихты, высоты спекаемого слоя и содержания FeO в агломерате, характеризующего тепловой уровень процесса.

Близость фактических значений содержания MgO в агломерате и его суммарной основности к расчетным свидетельствует о высокой воспроизводимости результатов экспериментов.

Условия и усредненные результаты экспериментов

Параметры	Значения параметров по опытам с расчетным содержанием MgO, * %					
	2	2,5	3	3,5	4	
<i>Условия экспериментов</i>						
Fe в агломерате, %	52/51	51,5/50,5	51/50	50,5/49,5	50/49	
(CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub> , ед.	1,75/2,0					
CaO/SiO <sub>2</sub> , ед.	1,54/1,78	1,49/1,73	1,44/1,68	1,40/1,63	1,35/1,59	
Содержание углерода, %	4,25/4,45	4,25/4,45	4,3/4,5	4,3/4,5	4,3/4,5	
<i>Результаты экспериментов</i>						
Фактическое содержание в агломерате, %:	MgO	1,9/2,0	2,4/2,5	2,9/3,2	3,3/3,5	4,1/3,9
	Fe <sub>общ</sub>	51,9/51,1	51,7/50,8	51,1/50,1	50,9/49,8	50,1/49,3
	FeO	11,6/13,95	11,3/13,5	13,1/14,35	14,2/14,4	14,2/13
Фактическая основность по (CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub> , ед.	1,79/2,05	1,78/2,07	1,82/2,11	1,82/2,09	1,82/2,02	
Влажность шихты, %	7,25/6,70	6,50/7,00	6,90/7,05	6,50/6,60	6,80/7,20	
Высота спекаемого слоя, мм	325/334,5	344,5/339,	339,5/341	343/339,5	342/342,5	
Относительная усадка, %	10,46/11,2	11,18/10,9	10,73/11,1	11,22/11,1	11,26/11,5	
Скорость спекания, мм/мин	16,67/16,9	16,68/16,9	16,76/17,0	16,73/16,9	16,72/17,1	
Выход годного из спека, %	78,57/83,5	78,14/85,0	80,42/85,5	79,95/86,3	80,94/85,9	
Прочность на сбрасывание (доля мелочи 0-5 мм), %	17,42/15,9	17,91/15,5	17,44/15,7	18,43/13,9	17,85/15,1	
Производительность по годному агломерату, т/м <sup>2</sup> ·ч	1,13/1,15	1,04/1,17	1,10/1,15	1,03/1,16	1,02/1,17	
Прочность на удар (доля фр. 5-40 мм), %	63,3/58,8	63,7/59,9	62,3/60,2	57,8/62,5	60,0/63,1	
Сопrotивление истиранию (доля фр. 0-0,5 мм), %	4,86/4,95	4,74/4,73	4,79/4,71	5,12/4,60	4,98/4,66	

\* В числителе значения для расчетной суммарной основности 1,75; в знаменателе – 2,0.

Зависимости показателей аглопроцесса от содержания MgO в агломерате приведены на рис. 1.

Увеличение MgO в агломерате в результате использования бакальского сидерита ведет к росту потерь при прокаливании (п.п.п.) аглошихты и усадки аглоспека (рис. 1, а). При этом по сравнению с ростом п.п.п. увеличение усадки спека незначительно, что свидетельствует о повышении пористости агломерата. Это также подтверждается ростом скорости спекания (рис. 1, б) и внешним видом аглоспека. Кроме того, с увеличением магнезии наблюдается устойчивое снижение насыпного веса окомкованной аглошихты (см. рис. 1, б), обусловленное уменьшением доли тонкодисперсного концентрата в ней и улучшением условий окомкования.

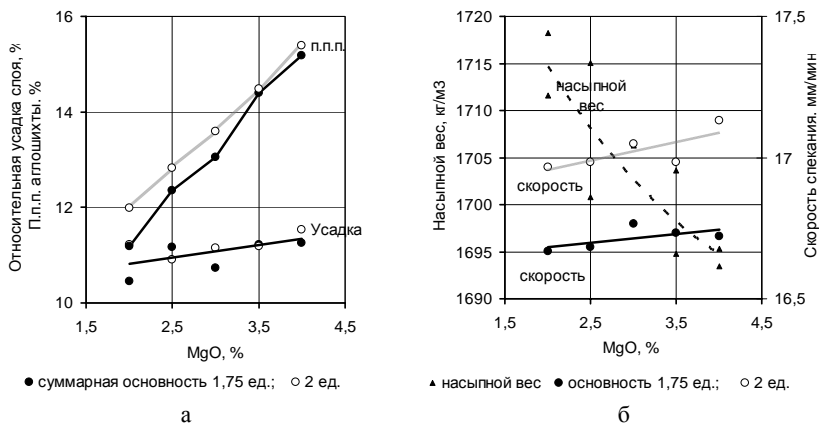


Рис. 1. Влияние MgO на показатели аглопроцесса

С ростом MgO наблюдается увеличение выхода годного агломерата из спека, причем при суммарной основности 2,0 выход годного на 5% выше, чем при 1,75 (см. таблицу). Это главным образом связано с тем, что агломерат основностью  $(CaO + MgO) / SiO_2 = 1,75$  имеет простую основность  $CaO / SiO_2 = 1,3-1,6$  (см. таблицу), которая способствует образованию двухкальциевого силиката, снижающего прочность агломерата [6–8].

Данные выводы подтверждаются показателями прочности агломерата на сбрасывание, которая определяется долей мелочи 0-5 мм после проведения испытания. Из рис. 2, а видно, что агломерат суммарной основности 1,75 имеет меньшую прочность на сбрасывание и с увеличением магнезии наблюдается ухудшение прочности, т.е. в данном случае упрочняющее воздействие магнезии нивелируется, и образование двухкальциевого силиката оказывают на них большее влияние. В области агломератов с суммарной основностью 2 ед. разупрочняющее действие двухкальциевого силиката минимизируется, и с ростом MgO в агломерате его прочность растет.

Влияние фазового состава агломерата проявляется и на производительности по годному агломерату (рис. 2, б) – при суммарной основности 2,0 наблюдается тенденция к росту удельной производительности за счет упрочняющего действия магнезии, в то время как при  $(CaO + MgO) / SiO_2 = 1,75$  прослеживается обратная зависимость.

Барабанная прочность агломерата (рис. 3) с различным содержанием магнезии также определяется взаимным действием разнонаправленных факторов: упрочняющее действие MgO; разупрочняющее действие двухкальциевого силиката и повышенной пористости агломерата.

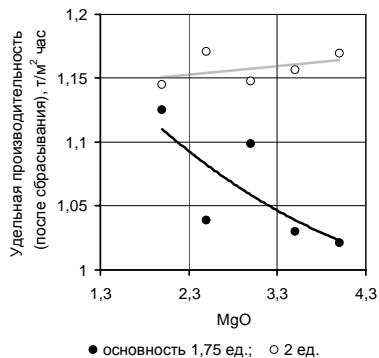
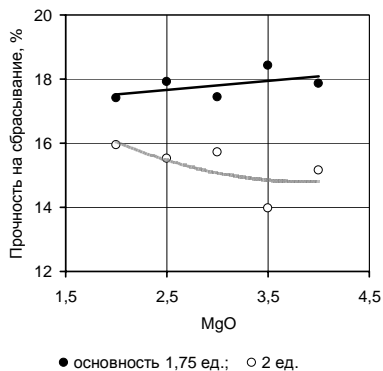


Рис. 2. Влияние MgO в агломерате на его прочность (а) и удельную производительность аглопроцесса (б)

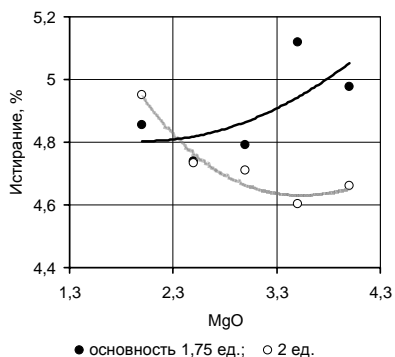
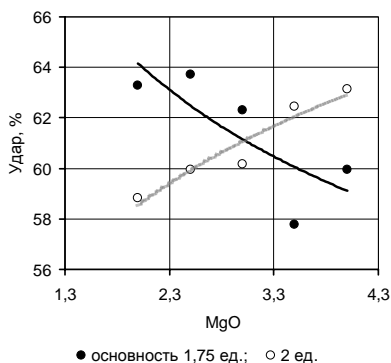


Рис. 3. Влияние MgO в агломерате на его барабанную прочность

На основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что упрочняющее действие магнезии, вносимой в аглошихту с бакальским сидеритом, в наибольшей степени проявляется при производстве агломерата с содержанием MgO 3–4% и суммарной основности 2 ед., при которой минимизируется разрушающее влияние двухкальцевого силиката ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,7\text{--}1,8$ ).

#### Список литературы

1. Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Сергеев Д.С. Состояние и перспективы использования сидеритовых руд Бакальского месторождения в черной металлургии.



- лургии // Теория и технология металлургического производства. 2013. № 1 (13). С.6-8.
2. Железородная база ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / В.И. Гладских, С.В. Гром, А.Б. Пермяков, Н.И. Хасанов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 2. С.13-16.
  3. Пузик М.В., Ленкина М.С., Шаповалов А.Н. Эффективность применения магнизиальных материалов для производства агломерата в условиях ОАО «Уральская сталь» // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т.1. С.110-113.
  4. Влияние шлакового режима на работу доменных печей / Н.Л. Жило, И.И. Сагайдак, Л.Я. Шпабер, Л.И. Большакова, А.Г. Русакова // Сталь. 1966. № 4. С.293-299.
  5. Нестеренко С.В., Овчинников Н.А., Хоменко В.М. Физические свойства металлургических шлаков: справ. изд. Донецк: Донеччина, 2001. 224 с.
  6. Влияние оксида магния на фазовые превращения и металлургические свойства высокоосновного агломерата / Т.Я. Малышева, Ю.С. Юсфин, М.Ф. Гибадуллин, В.В. Коровушкин, Н.Р. Мансурова, В.А. Гостенин // Сталь. 2006. № 10. С.4-6.
  7. Утков В. А. Высокоосновный агломерат. М.: Металлургия, 1977. 156 с.
  8. Малышева Т.Я., Долицкая О.А. Петрография и минералогия железородного сырья. М.: МИСиС, 2004. 422 с.

УДК 62. 233. 1

**Ю.А. Пожидаев, О.С. Коптелова**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВАЛОВ СРЕДСТВАМИ САПР**

**Аннотация.** В работе представлена методика проектирования валов в КОМПАС-3D, AutodeskInventor, APMWinMashine. Были определены преимущества программного обеспечения, а также выявлены недостатки вычислительного характера.

**Ключевые слова:** проектирование, вал, изгибающий момент, тело вращения.

Дефицит времени, вызываемый ростом объемов разработок, а также повышение уровня сложности проектируемых изделий побуждают конструкторов к поиску все новых программных средств автоматизации различных этапов проектной деятельности.

Вращающиеся детали машин (зубчатые колеса, шкивы, звездочки и др.) размещают на валах и осях. Валы предназначены для передачи вращающего момента вдоль своей оси. Силы, возникающие при передаче вращающего момента, вызывают напряжения кручения и изгиба, а иногда напряжения растяжения или сжатия. Валы совершают вращательное движение, опираясь на подшипники скольжения или качения.

К действующим нагрузкам, которые передаются на вал со стороны детали (шкива, звездочки, зубчатого колеса и др.) или с вала на деталь, относятся: силы в зацеплении зубчатых и червячных передач; нагрузки на валы ременных и цепных передач; нагрузки, возникающие при установке муфт в результате неточности монтажа и других ошибок.

Был проведен сравнительный анализ программных комплексов AutodeskInventor, APMWinMashine, КОМПАС-3D в сравнении с общепринятой методикой расчета валов (рис. 1, 2).

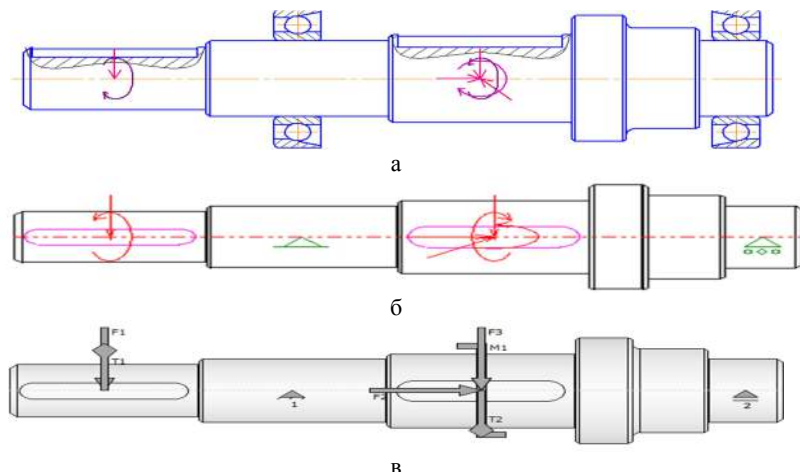


Рис. 1. Визуальное представление рассчитываемого вала:  
а – компас 3D; б – APMWinMashine; в – AutodeskInventor

Создание тел вращения – неотъемлемая часть проектирования механических устройств. АСКОН разработал библиотеку «Валы и механические передачи 2D и 3D». 2D-библиотека предназначена для двухмерного проектирования валов и втулок в КОМПАС-График, 3D – для трехмерного проектирования в КОМПАС-3D. Приложение обеспечивает быстрое построение многоступенчатых валов. Количество ступеней модели может быть любым, а форма – различной. Так же возможность спроектировать и рассчитать элементы механических передач. Выполнить расчеты на прочность и долговечность валов, подшипников и шлицев.

Обычно валы нагружаются значительной внешней нагрузкой, которая может быть смоделирована системой параллельных сосредоточенных поперечных и продольных сил, а также сосредоточенных моментов кручения и изгиба. Кроме того, валы могут быть нагружены системой распределенных поперечных нагрузок.

Существуют также валы с нелинейной геометрической осью, называемые коленчатыми. Очевидно, что коленчатый вал может быть смоделирован либо пространственной рамной конструкцией, либо трехмерной пластинчато-стержневой. И в том и в другом случае для комплексного анализа коленчатых валов можно использовать модули системы WinMachine, такие как WinFrame3D и WinStructure3D соответственно.

Необходимо отметить и тот факт, что кроме обычных валов с помощью модуля WinShaft можно выполнить всесторонний расчет торсионных валов, которые являются конструктивной разновидностью валов. Для их расчета не предусмотрено никаких специальных инструментов, поскольку для этого вполне достаточно функций, используемых в общем случае.

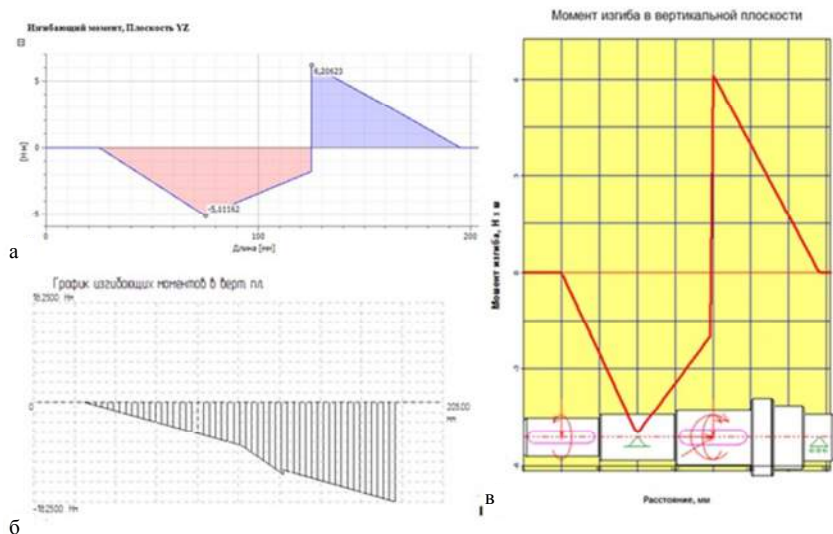


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов в вертикальной плоскости:  
 а – Autodesk Inventor; б – Компас 3D; в – APMWinMashine

Главной целью любого проектирования или конструирования, является выбор наиболее подходящей конструкции. Применительно к валу оно означает, во-первых, что его конструкция должна быть равнопрочной при расчете как на статическую прочность, так и на выносливость. Во-вторых, одной из важных характеристик вала является его жесткость, а в отдельных случаях и устойчивость. В-третьих, валы должны работать вдали от резонансных частот и т.д. Кроме того, при проектировании валов следует принимать во внимание экономическую сторону вопроса. Это означает, что, будучи технологичной, конструкция должна иметь минимальный вес и стоимость.

Модули WinShaft, AutodeskInventor были разработаны для реализации именно этих целей и, следовательно, идеально подходят для выполнения всестороннего анализа вала. Разумеется, получить равнопрочную конструкцию вала невозможно, но создать форму вала, наиболее близкую к равнопрочной, при использовании инструментов этих САПР реально. Конструкции валов, спроектированные непосредственно с применением наших инструментальных средств, оказываются самыми рациональными по отношению к другим, к тому же достигается это при наименьших материальных вложениях. Тем не менее инженер должен владеть основами расчета не только средствами САПР, но и общепринятыми.

## Список литературы

1. Детали машин и основы конструирования / под ред. М. Н. Ерохина. М.: Колос С, 2005. 462 с.
2. Решетникова Е.С., Усатая Т.В. Технологии САПР для оптимизации процесса обучения компьютерной графике в техническом университете // Механическое оборудование металлургических заводов. 2014. №3. С. 133-138.
3. Семашко В.В., Пожидаев Ю.А. Оптимизация параметров конструкции при проектировании // Вестник машиностроения. 2012. №5. С.72-75.
4. Джекко Д.А., Блондинская Е.Б., Пожидаев Ю.А. Определение демпфирующих свойств конструкционных сталей // Механическое оборудование металлургических заводов. 2013. № 2. С. 120-123.
5. Особенности использования 3D топографических характеристик поверхности в инженерном деле / В.К. Белов, Д.О. Беглецов, Е.В. Губарев и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1(45). С. 73-80.

УДК 621.774.2

**Е.Б. Пожидаева, Д.Н. Чикишев, В.М. Салганик**

### **МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ УЧАСТКА ТРУБЫ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА, ИСПЫТЫВАЮЩЕГО СЛОЖНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ НАГРУЖЕНИЕ**

**Аннотация.** *Выполнен анализ процесса расширения трещины трубопровода на основе многомасштабной динамической модели разрушения для различных категорий прочности трубной стали. Был апробирован структурно-временной подход к анализу многомасштабной природы динамического разрушения на основе понятия пространственно-временной ячейки разрушения для различных масштабных уровней.*

**Ключевые слова:** *труба большого диаметра, моделирование, динамическое нагружение, трещина.*

С повышением рабочих давлений в трубопроводах возникает потребность в увеличении толщины и повышении уровня прочности труб. Опасность разрушений и тяжесть их последствий увеличиваются. Из практики эксплуатации газопроводов с конца 60-х годов прошлого века известно много случаев протяженных вязких разрушений, которые в отличие от хрупкого разрушения протекают с пластическим утонением стенки трубы [6–8].

С увеличением мощности современных магистральных газопроводов, за счет увеличения диаметра труб и рабочего давления протяженность наблюдающихся вязких разрушений существенно возросла. Длина вязкого разрушения на современных мощных газопроводах составляет порядка 300–400 м. Однако известны случаи, когда протяженность вязкого разрушения достигала 900 м. При этом ско-

рость распространения вязкой трещины колеблется в диапазоне 200-300 м/с [9–11]. Первоначально процессы разрушения анализировались в рамках макромеханики, и лишь в последние десятилетия с развитием современных экспериментальных методов локального структурного исследования материалов наука о разрушении обогатилась физическими моделями, описывающими его на мезо- и микроуровнях. В частности, стало возможным экспериментальное изучение локальной пластической деформации вблизи вершины движущейся трещины, что обусловило существенное изменение первоначального представления, согласно которому хрупкое разрушение отличается от вязкого отсутствием сопряженной с ним пластической деформации.

Критерии начала распространения трещины могут быть получены как на основе энергетических подходов (А.А. Гриффитс, 1920), так и силовых (Дж.Р. Ирвин, 1957). Дж.Р. Ирвин также показал эквивалентность этих двух критериев [1].

Первоначально считалось, что теория А.А. Гриффитса применима только к хрупким материалам типа стёкол. Её использование для других материалов, например металлов, затруднялось тем, что их разрушение всегда сопровождается пластическими деформациями в зоне предразрушения. Венгерский ученый Е.О. Орован, проводя эксперименты на плитах из малоуглеродистой стали с нанесёнными трещинами, заметил, что пластическая деформация сосредоточивается в тонком слое вблизи поверхности трещины [3]. Подобное поведение было названо квазихрупким.

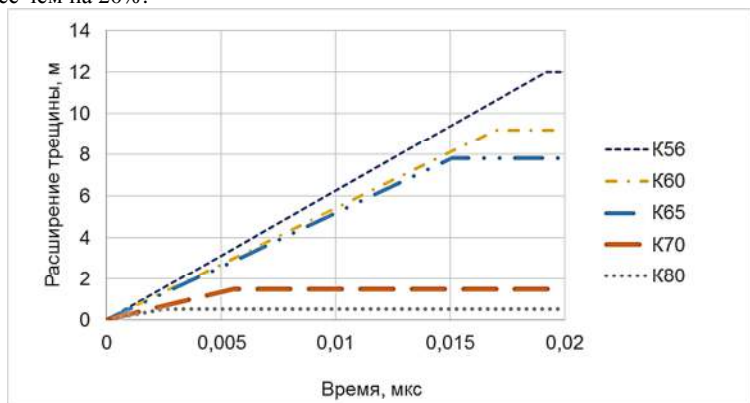
Ю.В. Петровым была предложена модель для динамического разрушения квазихрупких гетерогенных материалов на различных масштабных уровнях, основанная на опыте в экспериментальных, теоретических и численных исследованиях многомасштабного разрушения [5]. Обобщение динамического разрушения включает в себя понятие времени инкубации, вводя тем самым пространственно-временную дискретизацию процесса разрушения. Зная свойства прочности и инкубационный период разрушения на некотором масштабном уровне, можно оценить верхнюю границу для меньшего масштабного уровня, нижнюю границу для большего масштабного уровня и время инкубации для меньшего масштабного уровня. Таким образом, критерий времени инкубации динамического разрушения позволяет установить взаимосвязи между свойствами трещин на разных масштабах, что даёт возможным назначать масштабные уровни разрушения для различных экспериментов на одном и том же материале [5].

Линейная аппроксимация раскрытия трещин является самым простым для анализа и удобным для практических качественных оценок, хотя и не подходит для точного анализа поведения разрушения. Это дает результаты, которые качественно аналогичны более сложным нелинейным моделям. В случае если дальнейшие исследования указывают на необходимость для нелинейной модели, то данный анализ не потребует серьезных изменений.

Было смоделировано разрушение секции трубы, которую подвергали внутреннему давлению, близкому к рабочему давлению в газопроводе. Моделирование проводилось на пяти марках стали категорий прочности: К56, К60, К65, К70 и К80. График (см. рисунок) показывает расширение трещины трубопровода с течением времени, изготовленного из пяти различных марок сталей.

Было установлено, что длина трещины, прежде чем она будет задержана, сильно зависит от предела прочности на растяжение трубной стали, несмотря на

то, что окончательная статическая прочность из пяти марок стали отличаются менее чем на 20%.



Расширение трещины трубопровода

Был апробирован структурно-временной подход к анализу многомасштабной природы динамического разрушения на основе понятия пространственно-временной ячейки для различных масштабных уровней.

Современная научная проблема заключается в разработке методики экспериментального определения параметров разрушения в данном масштабном уровне и их возможных взаимосвязей с высшими и низшими уровнями масштаба.

Доказано, что эти взаимосвязи позволяют прогнозировать вероятные разрушения на более высоком (реальном) уровне на основе данных испытаний, полученных на нижнем (лабораторном) уровне.

#### Список литературы

1. Irwin G.R. Analysis of stresses and strain near the end of a crack traversing a plate // J. Appl. Mech. 1957. V. 24. No 3. P. 361–364.
2. Irwin G.R. Fracture dynamics. Fracturing of metals // ASM, Cleveland. 1948. P. 147–166.
3. Irwin G.R. Relation of stresses near a crack to the crack extension force // In: Proc. 9th Int. Congr. Appl. Mech., Brussels. 1957. V. 8. P. 245–251.
4. Orowan E.O. In: Proc. Symposium on internal stresses in metals and alloys // London: Institute of Metals. 1948. P. 451.
5. Y. Petrov, V. Bratov. Multiscale Fracture Model for Quasi-brittle Materials// Applied Mechanics and Materials, 2011. Vol.82. Pp.160-165.
6. Современные концепции разработки низколегированных сталей для топливно-энергетического комплекса России / Д.Н. Чикишев, Е.Б. Блондинская, П.С. Тарасов, К.Э. Соколова // Наука и производство Урала. 2014. №10. С. 92-94.
7. Чикишев Д.Н., Пожидаева Е.Б. Математическое моделирование изменения прочностных характеристик микрولةгированных сталей в процессе термод-

- формационной обработки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 4-3. С. 664-668.
8. Пожидаев Ю.А., Кадошников В.И., Блондинская Е.Б. Модернизация системы демпферов четырехвалковой дробилки с использованием электромеханических модулей для повышения КПД // Ремонт, восстановление, модернизация. 2012. № 4. С. 28-33.
  9. Джекко Д.А., Блондинская Е.Б., Пожидаев Ю.А. Определение демпфирующих свойств конструкционных сталей // Механическое оборудование металлургических заводов. 2013. № 2. С. 120-123.
  10. Чикишев Д.Н., Блондинская Е.Б. Дилатометрические исследования в определении фактических температур структурно-фазовых превращений // Новые материалы и технологии: состояние вопроса и перспективы развития: сб. материалов Всероссийской молодежной научной конференции. Саратов, 2014. С. 112-115.
  11. Пожидаев Ю.А., Кадошников В.И., Савочкина Л.В. Проектирование демпфирующих систем для рекуперации энергии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 3. С. 80-83.
  12. Прогнозирование механических свойств катанки на основе нейросетевого моделирования / А.М. Песин, Д.Н. Чикишев, А.А. Перехожих и др. // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2009. № 1. С. 240-246.
  13. Моделирование микроструктуры низколегированной конструкционной стали при черновой прокатке на стане 5000 ОАО «ММК» / В.М. Салганик, А.М. Песин, С.В. Денисов, Д.Н. Чикишев и др. // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2011. № 1. С. 4-11.

УДК 531.43/46

**В.А. Русанов, А.С. Губин, С.А. Камадина, И.А. Анцупова**

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИВОДА ЭНКОПАНЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ПОЛОС**

**Аннотация.** На основе аналитического исследования ресурса привода управления энкопанелями системы экранирования горячекатаных полос по критерию кинетической прочности наиболее нагруженных элементов гидроцилиндров предложены новые решения повышения их долговечности, которые внедрены в промышленную эксплуатацию.

**Ключевые слова:** надежность, долговечность, ресурс, гидроцилиндр, энкопанель.

Система экранирования горячекатаных полос (СЭГР) стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК» предназначена для поддержания температурного баланса раската между черновой и чистовой группами клетей для реализации требуемого режима прокатки полосы. Система состоит из 48 секций энкопанелей. Каждая из секций включает три неподвижных (две боковых и нижнюю) панели и верхнюю подвижную, положение которой устанавливают с помощью гидропривода (рис. 1).

Перемещение верхних панелей 1 в каждой секции осуществляют с помощью двух гидродвигателей 2 и рычагов 3, которые смонтированы на раме 4.

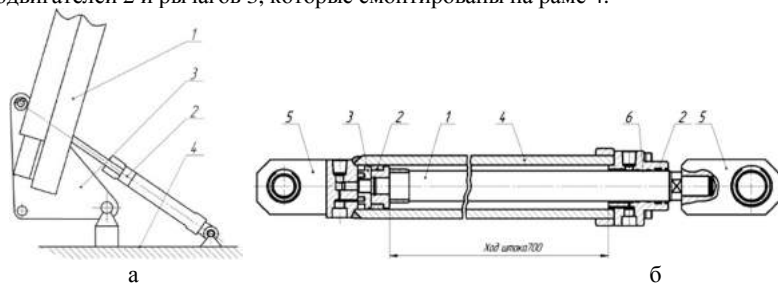


Рис. 1. Гидропривод энкопанели:

- а – кинематическая схема привода энкопанели; б – схема гидроцилиндра в сжатом состоянии (1 – шток; 2 – уплотнения; 3 – поршень; 4 – гильза; 5 – проушина, 6 – направляющие втулки)

Техническое диагностирование СЭГР показало, что одной из причин её отказов, возникающих через 4–6 месяцев работы, является неравномерная по толщине стенки тепловая остаточная деформация гильз в средней их части, приводящая к потери их цилиндричности. При этом в сопряжении «поршень 3 – гильза 4» (рис. 1, б), возникает зазор, что сопровождается снижением давления в рабочей полости гидроцилиндра. Это приводит к нарушению нормальной работы привода и отказу всей системы.

В связи с тем, что назначенный ресурс СЭГР составляет один год, возникает настоятельная необходимость обеспечения надежности СЭГР по критерию работоспособности гильз.

Моделирование напряженного состояния гильз гидроцилиндров с использованием программного продукта «Autodesk Inventor» показало, что максимальные напряжения растяжения, возникающие в наиболее нагретых поверхностных слоях, существенно ниже предела упругости стали 25:  $\sigma_{\max} \ll \sigma_y \approx 210 \text{ МПа}$  (рис. 2). Эти результаты, как показано выше, не подтверждает практика эксплуатации системы СЭГР.



Рис. 2. Напряженное состояние гильзы гидроцилиндра в исходной конструкции



Поэтому для доказательства объективности возникновения отказов СЭГР и теоретического обоснования полугодового ресурса её безотказной работы использован современный кинетический подход к расчету долговечности элементов механических систем [2–4]. С позиции кинетического подхода ресурс нагруженных деталей машин рассчитывается на основе математического моделирования процесса повреждаемости структуры их материала для заданных условий нагружения (заданных напряжений  $\sigma_{\max}$  и температуры изделия  $T$ ). В этом случае параметром состояния исследуемых деталей является не максимальное напряжение  $\sigma_{\max}$ , а текущая плотность скрытой энергии дефектов  $u_e(\sigma_{\max}, T, t)$ , которая накапливается с течением времени эксплуатации  $t$  в наиболее нагруженных локальных объемах материала, расположенных в зоне действия  $\sigma_{\max}$ . Момент отказа гильзы (её ресурс) определяется моментом достижения плотностью  $u_e(\sigma_{\max}, T, t)$  критического значения  $u_{e*}$ , которая является функцией энтальпии плавления материала детали в жидком состоянии  $\Delta H_s$  [1].

Средний ресурс гильзы исходной конструкции, рассчитанный по предложенной методике, результаты которой и их графическая интерпретация представлены на рис. 3, составляет для заданных условий нагружения  $\bar{t} \approx 0,5 \text{ лет}$ . Это, очевидно, подтверждает практика их эксплуатации.

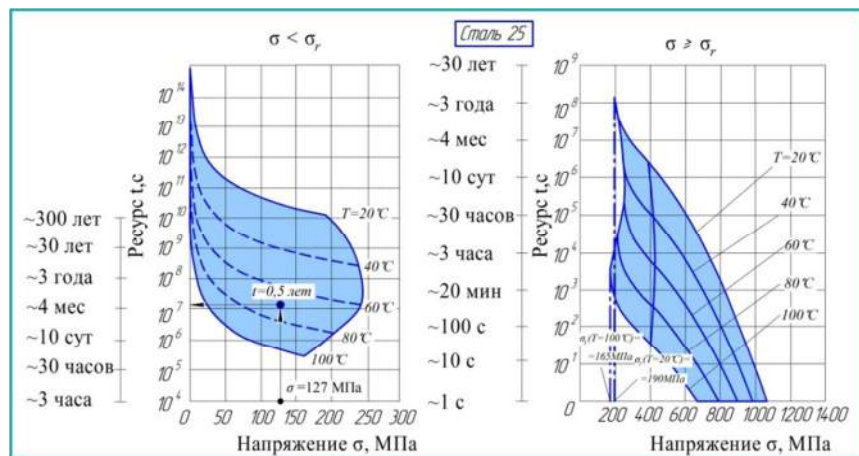


Рис. 3. Номограмма оценки ресурса гильзы гидроцилиндра СЭГР исходной конструкции

Для устранения остаточной деформации гильз и повышения их долговечности предложен ряд вариантов их реконструкции, связанных с установкой ребер жесткости, заменой материала гильзы, увеличением её толщины, установкой за-

щитных теплоотражающих кожухов или отдалением гидроцилиндров на большее расстояние от горячей прокатываемой полосы.

Наиболее целесообразным и экономически выгодным способом обеспечения надежности данного узла оказался вариант с заменой материала гильзы и одновременным увеличением её стенки с 6 до 10–12 мм. Результаты математического моделирования долговечности гильз новой конструкции представлены на номограмме (рис. 4).

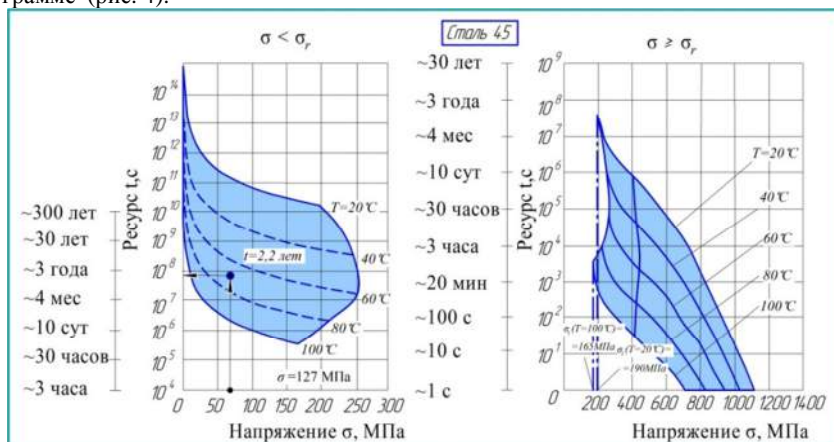


Рис. 4. Номограмма оценки ресурса гильзы гидроцилиндра СЭГР после модернизации

Рисунок показывает, что прогнозируемый ресурс гильз новой конструкции составляет 2,2 года, что почти в 2 раза превышает требуемую величину.

Опытные варианты гильз новой конструкции, выполненные из стали 45 и толщиной стенки  $h = 12\text{ мм}$ , в настоящее время проходят промышленные испытания на стане 2000 ОАО «ММК». На данный момент срок их службы превысил 2 года безотказной работы, и они по-прежнему находятся в эксплуатации.

#### Список литературы

1. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1(45). С. 141-146.
2. Анцупов А.В., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов В.П. Обеспечение надежности узлов трения машин на стадии проектирования: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 293 с.
3. Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Анцупов В.П. Теория и практика обеспечения надежности деталей машин по критериям кинетической прочности и

- износостойкости материалов: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 308 с.
4. Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Анцупов В.П. Развитие теории прогнозирования надежности деталей машин // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №2. С.26-32.
  5. Особенности проектной оценки долговечности деталей машин в условиях много- и малоциклового усталости / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов // Механическое оборудование металлургических заводов: междунар. сб. науч. тр. / под ред. А.Г. Корчунова. Вып.3. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. С. 40-47.

УДК 621.771.25: 658.562.3

**С.Ю. Саранча, С.А. Левандовский, А.Б. Моллер**

## **ПОЭТАПНОЕ ВНЕДРЕНИЕ ИТ В УСЛОВИЯХ СОРТОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА: СПИРАЛЬ КАЧЕСТВА ДЖУРАНА КАК НЕПРЕРЫВНЫЙ ПРОЦЕСС ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ**

**Аннотация.** Сложная экономическая ситуация не позволяет большинству предприятий наращивать прибыль путем приобретения нового оборудования - наиболее целесообразно решать этот вопрос путем оптимизации технологических алгоритмов с целью повышения эффективности существующего оборудования. Спираль качества Джурана позволяет комплексно подойти к этой проблеме и сделать процесс повышения эффективности непрерывным. В рамках сортопрокатного производства удалось обеспечить все 14 этапов спирали.

**Ключевые слова:** повышение эффективности сортопрокатного производства, информационные технологии, оптимизация повысить прибыль раскроя металлопродукции на мерные длины, эффективность процессов, коэффициент выхода годного.

На сегодняшний день проблемы повышения качества и эффективности являются весьма актуальными, особенно в свете сложной экономической ситуации: вопросы эффективности производства становятся приоритетными [1, 2]. Современному предприятию экономически целесообразнее повышать прибыль путем повышения эффективности существующего оборудования и эффективности технологических процессов, нежели путем приобретения нового оборудования [2–4]. Опыт внедрения современных информационных технологий на металлургическом предприятии показывает, что можно обеспечить непрерывное повышение эффективности на производстве с помощью спирали качества Джурана [4].

Предложенная Джураном спираль качества состоит из 14 этапов: 1 – исследование рынка, 2 – разработка проектного задания, 3 – НИР, 4 – составление ТУ, 5 – технологическая подготовка производства, 6 – материально-техническое снабжение, 7 – изготовление инструмента, приспособлений, 8 – производство,

9 – контроль производственного процесса, 10 – контроль готовой продукции, 11 – испытание продукции, 12 – сбыт, 13 – техническое обслуживание, 14 – исследование рынка [6].

В рамках НИР были пройдены все 14 этапов спирали качества Джурана [7]. Анализ рынка показал, что спросом пользуется мерная сортовая продукция, при производстве которой образуется продукция, не соответствующая требованиям заказчика, то есть требованиям по длине [7, 8]. Такая продукция является браком и называется «немерная длина» в производстве. Согласно статистическим данным, более трети причин отбраковки сортовых профилей простой формы приходится на нее [9]. В рамках 7-го этапа спирали было разработано программное обеспечение (ПО) «Раскрой продукции сортопрокатных станов» как инструмент повышения эффективности технологического процесса раскроя на мерные длины сортопрокатной продукции [10, 11]. Контроль длины немерного остатка производится с помощью варьирования площади поперечного сечения готовой продукции в пределах допустимых значений путем изменения межвалкового зазора в прокатных клетях [12]. Государственные стандарты имеют как плюсовые, так и минусовые допуски: прокатка в плюсовых допусках выгодна предприятию при отгрузке готовой продукции по массе, а прокатка в минусовых допусках – при отгрузке по количеству прутков (рис. 1).



Рис. 1. Варианты раскроя сортопрокатной продукции

В рамках НИР была построена диаграмма Исикавы для поиска производственных факторов, влияющих на качество раскроя продукции (рис. 2). Такими факторами оказались: масса заготовки, износ валков, точность выставления упора и зазора, эффективность алгоритма раскроя, соответствие ГОСТ и заказной длине.



Рис. 2. Диаграмма Исикавы

Опыт производства и сбыта показал, что оптимизация алгоритмов раскрой позволяет поднять коэффициент выхода годного на 7% на профиле круг 48. А годовой экономический эффект варьирует от 20 до 90 млн рублей в зависимости от производимой продукции и объемов производства [13, 14].

В рамках НИР было выяснено, что в среднем выход годного повышается с 96 до 98%, а в некоторых случаях – на крупном профиле – с 90 до 98%. Анализ эффективности программного обеспечения «Раскрой продукции сортопрокатных станов» на стане 370 ОАО «ММК» показал высокую эффективность решения [8]. Финансовые показатели возврата и прибыльности инвестиций превысили 100%, что говорит о действенности современных информационных технологий на металлургическом предприятии [14, 15].

Согласно 14-му этапу спирали качества Джурана был проведен повторный анализ рынка, который выявил достаточно высокий спрос на продукцию с фланцевыми профилями сечения. Таким образом, в рамках НИР были пройдены все 14 этапов спирали качества Джурана, что позволяет сделать следующие выводы:

- без модернизации или обновления существующего оборудования достижение значительное увеличение эффективности и рентабельности производства;
- внедрение современных информационных технологий в металлургическое производство позволяет использовать скрытые резервы, с помощью которых можно повысить рентабельность производства;
- спираль качества Джурана показала свою действенность на пути к непрерывному повышению качества производственных процессов.

## Список литературы

1. Саранча С.Ю., Моллер А.Б. Повышение эффективности сортопрокатного производства ОАО «ММК» путем увеличения точности металлургических механизмов // Механическое оборудование металлургических заводов (МОМЗ). Вып. 3. 2014. С. 25-29.
2. Гибкие решения в технологии и подготовке кадров: позитивный опыт сотрудничества с компанией DANIELI / О.Н. Тулупов, А.Б. Моллер, Д. Нигрис, М.В. Чукин, Д.И. Кинзин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 81-85.
3. Саранча С.Ю., Моллер А.Б., Новицкий Р.В. Немерная длина в сортопрокатном производстве и способы ее устранения // Калибровочное бюро. 2013. №2. С. 48-55.
4. Саранча С.Ю., Левандовский С.А., Моллер А.Б. Информационные технологии как инструмент управления качеством раскроя продукции и эффективностью сортопрокатного стана // Качество в обработке материалов. 2014. №2. С.88-91.
5. Совершенствование существующих технологических схем прокатки на основе оптимизации форм калибров с целью повышения качества сортовой продукции / С.А. Левандовский, А.Б. Моллер, Д.В. Назаров, А.А. Зайцев // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2006. № 1. С. 129-137.
6. Joseph M. Juran, Juran's quality handbook. The McGraw-Hill Companies. ISBN 0-07-034003-X.
7. Отчет о НИР/НИОКР / А.Б. Моллер, О.Н. Тулупов, С.А. Левандовский, Д.И. Кинзин, Н.А. Ручинская, С.Ю. Саранча, М.С. Гущина, А.В. Найденова, В.В. Елесина, А.Е. Кулакова; Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2013. № ГР 01201366941.
8. Информационные технологии как инструмент управления качеством раскроя готовой продукции и эффективностью сортопрокатного производства / С.Ю. Саранча, С.А. Левандовский, Ю.С. Стаценко, А.Б. Моллер // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. Том 2. №4. С54-56.
9. Саранча С.Ю., Моллер А.Б. Разработка и внедрение информационных технологий в сортопрокатное производство: оптимизация алгоритмов раскроя // Сталь. 2014. №11. С.35-38.
10. Вопросы бюджетирования департамента информационных технологий на примере сортопрокатного производства / С.Ю. Саранча, С.А. Левандовский, Ю.С. Стаценко, А.Б. Моллер // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2015. Том 3. №2. С. 65-67.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013619897. Раскрой продукции сортопрокатных станов / С.Ю. Саранча, А.Б. Моллер, Д.И. Кинзин, Р.В. Новицкий // ОБПБТ. 2013. № 2013619897 (№4. С.470).
12. Саранча С.Ю., Моллер А.Б. Модернизация сортопрокатного производства путем внедрения информационных технологий: решение проблемы кратности раскроя // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. Вып. 20. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2014. С. 61-70.
13. Sarancha S.Yu., Levandovskiy S.A., Statsenko J.S, Moller A.B.. Information Technology as Quality Management Tool of Cutting Production and Efficiency of the

Section-Rolling Mill // Russian Internet Journal of Industrial Engineering. 2014. Vol. 2. No. 4. P.54-56.

14. Саранча С.Ю., Моллер А.Б. Применение информационных технологий в металлургическом производстве: оптимизация технологии прокатки и раскроя готовой продукции в сортопрокатном производстве // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й Международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Т.1. С. 139-143.
15. Sarancha S. Yu., Levandovskiy S. A., Statsenko J. S, Moller A. B. Questions of the Area of Information Technologies Budgeting in Metallurgical Branch on the Example of Production of Section Rolling Products // Russian Internet Journal of Industrial Engineering. 2015. Vol. 3. No. 2. P65-67.

УДК 621.74.047:621.771.237

**А.Г. Соловьёв, М.В. Шитов**

## **КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РЕДУЦИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ МНЛЗ-ШСГП**

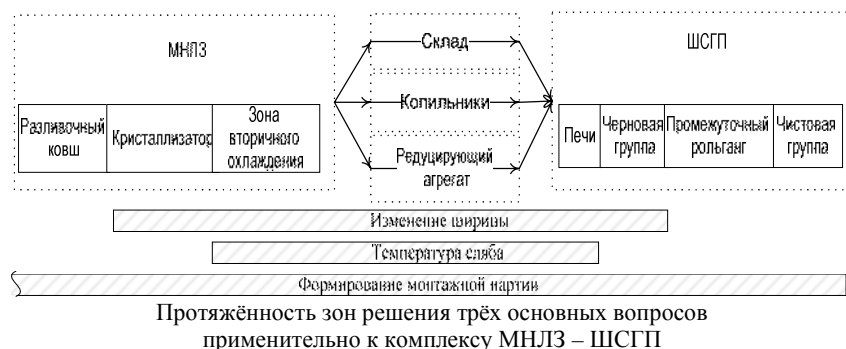
**Аннотация.** *Изменение ширины сляба в технологической системе МНЛЗ – ШСГП является достаточно важной производственной задачей, влияющей на экономические показатели производителей горячекатаной полосы и не имеющей однозначного решения. Рассмотрены основные варианты работы комплекса МНЛЗ – ШСГП при решении данной задачи на трёх возможных участках. Описаны важные технико-экономические показатели, которые включены в комплексную оценку редуцирующей способности рассматриваемого комплекса и в зависимости от состава оборудования найдены предпочтительные варианты решения.*

**Ключевые слова:** *широкополосный стан горячей прокатки (ШСГП), машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), технологическая система, редуцирование, энергоэффективность.*

Задача редуцирования сляба в технологической системе МНЛЗ – ШСГП является достаточно «протяжённой областью» возможного решения. А именно данную задачу можно решать на участке непрерывной разливки, в черновой группе ШСГП и на промежуточном участке с задействованием дополнительного редуцирующего оборудования. При её решении также будут затронуты другие основные задачи, решаемые одновременно в данном комплексе, среди которых можно выделить формирование монтажной партии, представляющей собой самый протяжённый участок решения, и задачу сохранения повышенного теплосодержания сляба – самый короткий участок. Задачи, решаемые в системе «разливка стали – прокатка металла», представлены на рисунке.

Все три задачи связаны между собой тем или иным образом. Формирование монтажной партии (последовательности слябов, прокатываемых в течение одной кампании валков чистовой группы согласно графику заказов) включает в себя выбор марок сталей, типоразмеров слябов по возможности с минимальными затратами. От того как решена задача изменения ширины, зависит выбор тех или

иных типоразмеров слябов. И монтажная партия формируется из слябов с минимальным временем ожидания (только что разлитых) или дополнительного потока со склада. Что, в свою очередь, определяет теплосодержание слябов [1–3].



Решение задач во много зависит от компоновки и технических параметров оборудования рассматриваемого комплекса, а также от возможностей проведения некоторых технологических операций и мероприятий.

На ШСГП данную задачу решают: 1) технологическим способом: перераспределение вертикальных и горизонтальных обжатий в зависимости от силовых резервов оборудования черновой группы (1.1); 2) в зависимости от конструктивных особенностей черновой группы: редуцирование вертикальными валками в реверсивных или неревверсивных проходах (увеличение дополнительных проходов или установка дополнительной вертикальной клетки) (1.2) или редуцирование посредством прессы (1.3).

На участке разливки можно выделить следующие пути решения задачи формирования ширины: 1) конструктивные особенности кристаллизатора: изменение ширины во время разливки (кристаллизаторы с возможностью перемещения узких стенок) (2.1), во время паузы (замена кристаллизатора) (2.2) и разливка слябов нескольких типоразмеров в одной серии (комбинированные кристаллизаторы) (2.3); 2) технологические особенности: уменьшения времени разливки (2.4) и длительности пауз между сериями (2.5), данные мероприятия дают возможность повысить производительность МНЛЗ и, соответственно, получить большое количество слябов посредством действий организационного характера либо модернизацией существующего оборудования [4, 5].

В связи с неэффективностью использования дополнительного редуцирующего оборудования на промежуточном участке, вызванными значительными дополнительными энергетическими и капитальными затратами, данный вариант не рассматривается [6]. Но существуют также варианты совместного решения задачи изменения ширины на МНЛЗ и ШСГП. В этом случае мероприятия организуются одновременно на двух участках, что значительно расширяет возможности вариантов редуцирования, в особенности технологическими способами.

В связи со сложностью решаемой задачи и большим количеством технологических параметров и показателей работы рассматриваемой системы были выбра-



ны четыре важных, с точки зрения авторов, критерия, которые служили оценкой рассматриваемых вариантов: 1) расходные коэффициенты  $k_{рМНЛЗ}$ ,  $k_{рШСГП}$ ; 2) расход энергии  $Q_{МНЛЗ}$ ,  $Q_{ШСГП}$ ; 3) дополнительные капитальные затраты  $Z_{МНЛЗ}$ ,  $Z_{ШСГП}$ ; 4) потеря производственной мощности (согласованность производственных потоков)  $P_{МНЛЗ}$ ,  $P_{ШСГП}$ . Анализ по всем вариантам представлен в таблице. Каждый из вариантов можно характеризовать одной вектором-строкой  $\alpha_{ij}$ . Сама вектор-строка представляет собой совокупность четырёх критериев по отношению к МНЛЗ и ШСГП:

$$\alpha_{ij} = \{\beta_1 \cdot k_{рШСГП}, \beta_2 \cdot k_{рМНЛЗ}; \beta_3 \cdot Q_{ШСГП}, \beta_4 \cdot Q_{МНЛЗ}; \beta_5 \cdot Z_{ШСГП}, \beta_6 \cdot Z_{МНЛЗ}; \beta_7 \cdot P_{ШСГП}, \beta_8 \cdot P_{МНЛЗ}\}, \quad (1)$$

где  $\beta_1 - \beta_8$  – коэффициенты, характеризующие уменьшение или увеличение рассматриваемого критерия по отношению к базовому, которые меняют свои значения в зависимости от номера строки (i) и столбца (j).

В качестве базового варианта принята существующая компоновка МНЛЗ – ШСГП 2000. Расчёты различных вариантов проводились при помощи программы для ЭВМ «Повышение эффективности формирования монтажной партии посредством показателей работы технологической системы МНЛЗ-ШСГП» (гос. свидетельство № 2014614307).

Так, например, векторы  $\alpha_{50}$ ,  $\alpha_{02}$ ,  $\alpha_{31}$  имеют следующие значения:

$$\alpha_{50} = \{1 \cdot k_{рШСГП}, 1,05 \cdot k_{рМНЛЗ}; 1 \cdot Q_{ШСГП}, 1 \cdot Q_{МНЛЗ}; 1 \cdot Z_{ШСГП}, 1,2 \cdot Z_{МНЛЗ}; 1 \cdot P_{ШСГП}, 1,15 \cdot P_{МНЛЗ}\}$$

$$\alpha_{02} = \{1,15 \cdot k_{рШСГП}, 1 \cdot k_{рМНЛЗ}; 0,9 \cdot Q_{ШСГП}, 1 \cdot Q_{МНЛЗ}; 1,25 \cdot Z_{ШСГП}, 1 \cdot Z_{МНЛЗ}; 1 \cdot P_{ШСГП}, 1,1 \cdot P_{МНЛЗ}\}$$

$$\alpha_{31} = \{1,1 \cdot k_{рШСГП}, 0,95 \cdot k_{рМНЛЗ}; 0,97 \cdot Q_{ШСГП}, 1 \cdot Q_{МНЛЗ}; 1 \cdot Z_{ШСГП}, 1,1 \cdot Z_{МНЛЗ}; 1 \cdot P_{ШСГП}, 1,1 \cdot P_{МНЛЗ}\}$$

#### Сравнение вариантов при совместном решении задачи

$\Delta b_{эф}$	Мероприятия на ШСГП			
	50-120	125-175	150-225	250-350
Мероприятия на МНЛЗ	Базовый	1.1 (технология)	1.2 (доп.клеть)	1.3 (пресс)
Базовый	-	$\alpha_{01}$	$\alpha_{02}$	$\alpha_{03}$
2.1 ( $\Delta b$ во $\tau_p$ )	$\alpha_{10}$	$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$	$\alpha_{13}$
2.2 ( $\Delta b$ во $\tau_n$ )	$\alpha_{20}$	$\alpha_{21}$	$\alpha_{22}$	$\alpha_{23}$
2.3 ( $N_{сл} > 1$ )	$\alpha_{30}$	$\alpha_{31}$	$\alpha_{32}$	$\alpha_{33}$
2.4 ( $\downarrow \tau_p$ )	$\alpha_{40}$	$\alpha_{41}$	$\alpha_{42}$	$\alpha_{43}$
2.5 ( $\downarrow \tau_n$ )	$\alpha_{50}$	$\alpha_{51}$	$\alpha_{52}$	$\alpha_{53}$

В ходе проведённой работы получены следующие выводы:

1. Проанализированы возможные варианты формирования ширины и установлено, что решение данной проблемы на каком-либо одном участке возможно только при достаточно больших капитальных затратах, что не всегда оправдано.

2. Приемлемый результат можно получить при решении данной проблемы совместно на двух участках одновременно с минимальными затратами и получением экономической и производственной гибкости.

3. Разработаны критерии оценки и создана модель, посредством которой можно анализировать возможные варианты технологической системы МНЛЗ-ШСГП.

4. В ходе данной работы получены теоретические результаты: на ШСГП разработаны режимы обжатия, позволяющие интенсифицировать процесс обжатия по ширине до 150–225 мм, разработан новый критерий эффективности редуцирования, получены зависимости, которые представлены графически и могут быть использованы в графоаналитических способах решения.

5. В качестве практических результатов получено государственное свидетельство на программу для ЭВМ, посредством которой можно исследовать и выбирать предпочтительные варианты компоновочных и технических решений технологической системы МНЛЗ-ШСГП.

#### Список литературы

1. Салганик В.М., Кульпин Е.В. Формирование ширины полос при горячей прокатке // Обзор. Информ. М.: Ин-т «Черметинформация». Сер. Прокатное производство, 1989. Вып. 2. 24 с.
2. Соловьёв А.Г., Шитов М.В. Влияние беспрограммной прокатки на энергоэффективность комплекса УНРС-ШСГП // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Вып. 20. С. 223-231.
3. Автоматизация процесса составления монтажных партий на ШСГП 2000 ОАО «НЛМК» / В.А. Третьяков, Е.А. Варшавский, И.П. Мазур и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 4. С. 69-71.
4. Нисковских В.М., Карлинский С.Е., Беренов А.Д. Машины непрерывного литья слывовых заготовок. М.: Металлургия, 1991. 272 с.
5. Коновалов Ю.В. МНЛЗ как многофункциональный агрегат для разливки, модифицирования и деформирования металла (Часть II) // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». 2010. № 6. С. 41-52.
6. Техничко-экономические проблемы сочетания непрерывного литья заготовок с прокатным производством / Б.Е. Тарасов, З.А. Захаров, Е.С. Глуховский и др. // Сталь. 1974. № 9. С. 815-820.

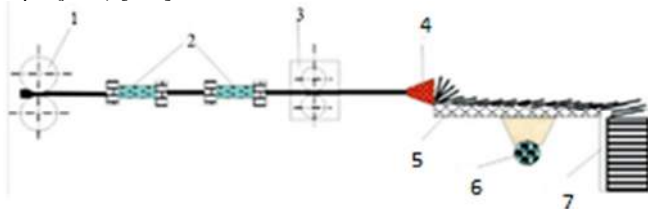
А.Б. Сычков, С.О. Малашкин

## ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАТАНКИ ПРИ ДВУСТАДИЙНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные технологические особенности линии Stelmor, состав оборудования, различные способы проведения термомеханической обработки, исходя от назначения катанки и её марочного состава. Основным достоинством двустадийного охлаждения является широкая возможность выбора режима термической обработки для сталей различного класса.

**Ключевые слова:** катанка, двустадийное охлаждение, термомеханическая обработка, Stelmor, сорбитизация.

Исторически при производстве катанки сначала задача термического воздействия на производимый прокат сводилась к снижению потерь металла в воздушную окалину. Для охлаждения катанки из различных марок сталей были созданы различные модификации способа Stelmor. При производстве катанки из средне- и высокоуглеродистых сталей, например для свивки канатов, применяется стандартный Stelmor. Для производства катанки из низкоуглеродистых и некоторых низко- и легированных сталей (под сварочную проволоку, клапанные пружины, детали подшипников и др.) используют «замедленный Stelmor». Был разработан также процесс «длинный Stelmor», который получил широкое распространение, позволяющий создавать требуемые условия воздушного охлаждения, а именно от 0,5 до 25°С/с при производстве катанки из разных марок стали широкого назначения (см. рисунок) [1–4].



Устройства для ускоренного двустадийного охлаждения катанки:  
1 – последняя клеть стана; 2 – водяные охлаждающие устройства;  
3 – трайб-аппарат; 4 – виткообразователь; 5 – транспортер витков;  
6 – вентилятор; 7 – шахта виткосборника

При помощи термообработки достигают требуемые уровни микроструктуры и механических свойств, обеспечивающие удовлетворительную технологичность проката при дальнейшей переработке. При помощи регулируемого охлаждения управляют фазовым составом окалины, обеспечивающим как ее полное удаление с поверхности проката тем или иным способом (химическим, механическим, комбинированными и т.п.), так и предотвращение коррозии проката в процессе его хранения и транспортировки.

Конструкция линии Stelmor позволяет осуществлять следующий способ воздушного охлаждения металла в витках после его водяного форсуночного охлаждения. Ускоренное воздушное охлаждение проката проводится струями воздуха, подаваемого на витки при помощи вентиляторных установок снизу на роликовый транспортер витков. При эффективных скоростях охлаждения (25–30°C) достигается получение структур мелкодисперсного сорбитообразного перлита (перлита 1 балла по ГОСТ 8233-56), который обладает оптимальным сочетанием прочностных и пластических характеристик. Кроме того, перлит 1 балла имеет малое межпластинчатое расстояние (не более 0,2 мкм), что при волочении обеспечивает максимальные степени обжата. Это особенно важно для высокоуглеродистой катанки, подвергаемой впоследствии волочению [5–8].

#### *Технология и оборудование для термообработки катанки в потоке*

Применяющиеся в настоящее время способы регулируемого охлаждения катанки можно разделить на пять групп [5-10]: охлаждение водой в проводящих трубах; двустадийное охлаждение катанки; охлаждение в ванне с подогретой водой и ПАВ; охлаждение в воде и псевдосжиженном слое; другие способы охлаждения. Рассмотрим некоторые из них.

Конструкция линии Stelmor позволяет осуществлять следующие способы воздушного охлаждения катанки:

1. Замедленное термостатирование катанки под теплоизолирующими крышками с минимально-достижимой скоростью охлаждения. Позволяет получить равномерную крупнозернистую рекристаллизованную структуру, предназначенную для дальнейшего глубокого волочения без применения операций отжига.

2. Ускоренное воздушное охлаждение катанки струями воздуха, подаваемое на витки катанки при помощи вентиляторных установок. Термоизолирующие крышки открыты. Применяется обычно для высокоуглеродистых марок стали, для получения структур мелкодисперсного сорбитообразного перлита.

3. Охлаждение катанки на естественном воздухе. Термоизолирующие крышки открыты. Вентиляторные установки выключены. Применяется для углеродистых марок стали обыкновенного качества, предназначенных для армирования бетона и производства строительных конструкций. Позволяет получить достаточно мелкое нормализованное зерно (в случае низкой температуры аустенитизации – виткообразования), сочетающее высокие прочностные и пластичные характеристики.

Дисперсность перлита, размер его колоний-зерен и однородность распределения по сечению катанки в этом отношении играет важную роль [9–11]. Структура мелкодисперсного или сорбитообразного перлита является наиболее благоприятной для достижения высоких суммарных обжатий при производстве проволоки. Это становится тем более актуальным в связи с непрерывной модернизацией волочильного оборудования в сторону увеличения производительности и снижения затрат, связанных с операциями термообработки катанки или проволоки. Структура мелкодисперсного перлита наряду с высокой прочностью обладает значительным запасом пластичности. Наличие в сечении катанки мелкодисперсного перлита не менее 50% позволяет достигнуть при волочении такой катанки из стали с содержанием углерода 0,70–0,80% суммарной степени деформации 90% и более без применения специальной термообработки [12–14].

Для обеспечения требуемого уровня качества сортового проката следует принять следующие технико-технологические решения по реконструкции линий Stelmor и усовершенствованию технологии двустадийного охлаждения бунтового проката на модернизированном оборудовании (научно-технологическое сопровождение осуществляет ФГБОУ ВПО «МГТУ им Г.И. Носова», техническое обеспечение при внедрении разработок – НПП АТТА, г. Екатеринбург):

1) Установка новых вентиляторов мощностью по 200–220 кВт с 6–8-канальным динамическим распределением воздушного потока по ширине роликового транспортера витков с КПД использования воздуха для охлаждения проката до 95%.

2) Полная герметизация термостатирующего тоннеля под теплоизолирующими крышками с целью исключения подсосов воздуха.

3) Обеспечение режима полной изотермической выдержки витков катанки под теплоизолирующими крышками (режимы патентирования и рекристаллизационного отжига) при помощи электронагревателей и циркуляционных вентиляторов.

Путем исправления существующих конструкционных и технологических недостатков при производстве сортовой продукции на существующих в РФ линиях Stelmor возможно достижение требуемого уровня качества проката широкого назначения.

#### Список литературы

1. Steel Wire Handbook/Ed. Allan B. Dove. The wire association international. Inc. Cuilford, Connecticut, 1980. 202 p.
2. Высокопрочная катанка для изготовления высокопрочных арматурных канатов: монография / А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.М. Нестеренко, С.Ю. Жукова, А.В. Перегудов. Бендеры: Полиграфист, 2010. 280 с.
3. Черные металлы: журнал № 6 / П. Функе, Г. Краутмахер, Р. Олер. 1967. 30–44 с.
4. Потемкин К.Д. Термическая обработка и волочение высокопрочной проволоки: монография. М.: Металлургия, 1963. 120 с.
5. Прогрессивные способы повышения качества стали: монография / В.В. Лемпицкий, И.Н. Голиков, Н.Ф. Склокин. М.: Металлургия, 1968. 340 с.
6. Металлургические и металловедческие аспекты производства высокоуглеродистой катанки: монография / А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.Ю. Столяров, М.А. Шекшеев, С.Ю. Жукова, С.О. Малашкин. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 257 с.
7. Парусов В.В., Сычков А.Б., Парусов Э.В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки: монография / Днепрпетровск: АРТ-ПРЕСС, 2012. 376 с.
8. Развитие научных и технологических основ производства катанки для изготовления канатов и металлокорда / В.В. Парусов, А.М. Нестеренко, Р.В. Старов, О.В. Парусов, А.Б. Сычков // Метизная промышленность XXI века: проблемы и перспективы: сб. науч. тр. Донецк, 2001. С. 31-33.
9. Структура и технологическая пластичность ускоренно охлажденной углеродистой катанки / В.В. Парусов, В.К. Бабич, А.И. Сивак и др. // Сталь. 1982. № 9. С. 78-80.

10. Статистические исследования формирования закалочных структур в низкоуглеродистой легированной стали марки Св-08Г2С / А.Б. Сычков, М.А. Шекшеев, Г.С. Зайцев, С.О. Малашкин // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2013. № 1. С. 33-41.
11. Сычков А.Б., Малашкин С.О. Обеспечение металлургического и структурного качества катанки широкого назначения // Межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2014. № 13. С. 98–120.
12. Нестеренко А.М., Сычков А.Б., Сухомлин В.И. Исследование особенностей применения свойств катанки из микролегированной бором сталей при деформационном старении // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №3. С.30-32.
13. Исследование микроструктуры катанки из легированных сталей сварочного назначения / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, И.Н. Чуйко и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №4. С.54-55.
14. Особенности технологии производства высокоуглеродистой катанки / А.Б. Сычков, В.В. Парусов, Ю.А. Ивин и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1. С.38-42.

УДК 621.778

**М.Ю. Усанов, В.А. Харитонов**

## **ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОТЯЖКИ ПРОВОЛОКИ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

***Аннотация.** Методами интенсивной пластической деформации практически невозможно обрабатывать длинномерные изделия, такие как проволока. В статье показан метод позволяющий получать проволоку с высокой степенью наокпленной деформации.*

***Ключевые слова:** волочение, проволока, моделирование, радиально-сдвиговая протяжка, сдвиговая деформация.*

В последние годы значительный интерес проявляется к методам обработки металлов и сплавов интенсивной пластической деформацией (ИПД). Данные методы базируются на идее сохранения формы обрабатываемого образца при накоплении большой пластической деформации. Для накопления большой пластической деформации необходимо реализовать схему напряженного состояния, близкую к всестороннему сжатию с большими сдвиговыми деформациями.

Для осуществления сдвиговой деформации методы ИПД можно разделить на методы, основанные на кручении – кручение под давлением (КД), и методы, основанные на изгибе, – равноканальное угловое прессование (РКУП), и комбинации данных методов.

Из литературных данных [1] видно, что эффективными методами накопления деформации являются кручение под давлением, поскольку всего за 0,5–1 оборот даже в близкой к центру диска области достигается значительная степень деформации –  $\epsilon = 17$ –18. Для накопления примерно такой же деформации при РКУП требуется большое число проходов – 16, а при растяжении, прокатке, волочении необходимо вытянуть образец в 10 млн раз [1].

Однако методы ИПД практически невозможно применить для производства длинномерных изделий, таких как проволока.

Одним из способов, основанном на кручении, в котором реализуется схема напряженного состояния, близкая к всестороннему сжатию с большими сдвиговыми деформациями, является радиально-сдвиговая прокатка. В основе способа лежит траекторное управление движением деформируемого металла. В очаге деформации создается геликоидальное истечение металла с торможением внешнего слоя заготовки и разгоном внутреннего. Разнонаправленные потоки вызывают интенсивные сдвиговые перемещения в объеме проката (рис. 1). Многократно интенсифицируется измельчение структурного строения. Металл приобретает характерное мелкодисперсное строение, практически не доступное для других стационарных способов ОМД [2].

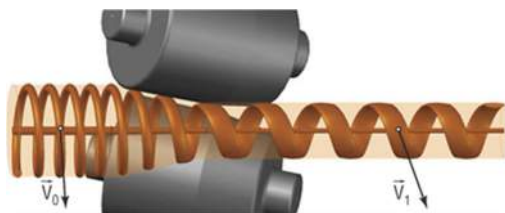


Рис. 1. Схема течения внешнего слоя заготовки ( $V_{0(1)}$  – скорости движения металла до и после очага деформации)

Однако из-за вращения заготовки способ радиально-сдвиговой прокатки практически невозможно использовать для получения круглой проволоки. Поэтому для реализации способа производства проволоки радиально-сдвиговой деформацией на кафедре машиностроительных и металлургических технологий МГТУ им Г.И. Носова был предложен способ, получивший название радиально-сдвиговой протяжки (РСПр), которая осуществляется приложением к проволоке (катанке), без ее скручивания, переднего тянущего усилия [3].

Исследования процесса, проведенные в работах [4, 5], показали, что радиально-сдвиговой протяжкой можно обрабатывать круглую проволоку. Геликоидальное течение металла приводит к измельчению структуры и получению повышенной накопленной степени деформации по сравнению с волочением в монолитных волоках.

В программном комплексе Deform 3D было проведено моделирование процесса РСПр [6–9]. На рис. 2 показано распределение осевых напряжений в очаге деформации при волочении и РСПр.

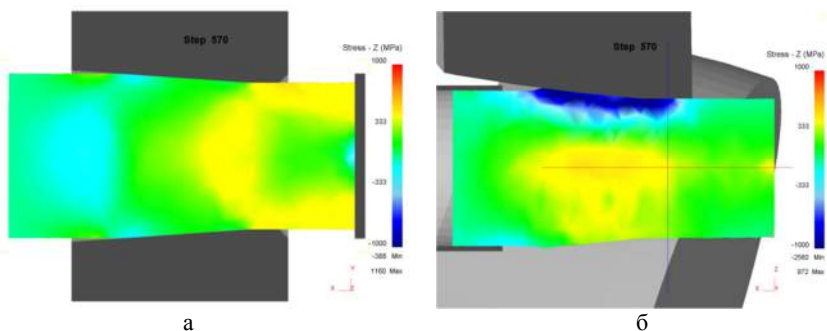


Рис. 2. Распределение осевых напряжений:

а – волочение в монолитной проволоке; б – радиально-сдвиговая протяжка

Стоит отметить, что при волочении в монолитной проволоке напряжения в очаге деформации действуют по всему периметру заготовки, в то время как при РСПр напряжения носят циклический характер от трех роликов. Данный характер действия напряжений способствует формированию в обрабатываемой проволоке спиралевидной структуры.

Оставляя волочение в монолитных проволоках как основной способ получения круглой проволоки и комбинируя его с радиально-сдвиговой протяжкой, станет возможным получение проволоки с повышенным комплексом механических свойств, например высокопрочной арматурной проволоки с наноструктурой [10] и высокопрочной проволочной арматуры [11]. На данные способы авторами получены патенты РФ.

#### Список литературы

1. Утяшев Ф.З. Связь между деформированным и структурным состояниями металла при интенсивной пластической деформации // Кузнечно-штамповое производство. Обработка металлов давлением. 2011. №5. С.33-39.
2. Инновационная технология рециклинга насосных штанг с применением технологии и министановов радиально-сдвиговой прокатки в условиях ОАО «Очерский машиностроительный завод» / С.П. Галкин, Б.А. Романцев, В.Н. Смердин, А.А. Аверьянов // Инженерная практика. №9. 2014. С. 58-61.
3. Манякин А.Ю. Повышение эффективности технологических процессов производства проволоки на основе совершенствования деформационных режимов волочения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2006. 20 с.
4. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Состояние и направления развития непрерывных способов наноструктурирования круглой проволоки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №3. С. 69-73.
5. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Исследование радиально-сдвиговой протяжки проволоки на основе моделирования // Металлург. 2013. №11. С.83-87.
6. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Моделирование процесса радиально-сдвиговой протяжки // Материалы 68-й межрегиональной научно-технической конфе-



- ренции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2010. Т.1. С. 46-48.
7. Усанов М.Ю. Моделирование в программном комплексе Deform 3d процессов волочения и радиально-сдвиговой протяжки проволоки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 80-85.
  8. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния проволоки при волочении и радиально-сдвиговой протяжке // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2014. №1 (40) июль С. 44-48
  9. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Анализ напряженного состояния проволоки при волочении и радиально-сдвиговой протяжке // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Вып. 20. С. 77-82.
  10. Патент 2 498 870 РФ.
  11. Патент 2 502 573 РФ.

УДК 669.162.16

**Е.О. Харченко, М.В. Сидоров, М.И. Сибатуллина, С.Р. Миникаев**

### **ВЫЯВЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА ЗАГРУЗКИ КОКСА МЕЛКИХ ФРАКЦИЙ В ШИХТОВЫЙ БУНКЕР БЗУ**

**Аннотация.** *Повышение коэффициента равномерности поступления коксового орешка в колошниковое пространство печи, путем загрузки в середину бункера БЗУ обеспечивало снижение коэффициента сопротивления шихты в печи на 36%, увеличение коэффициента замены кокса коксовым орешком на 25%, интенсивности по колошниковому газу с 3,12 до 3,59 м<sup>3</sup> в минуту на 1 м<sup>3</sup> полезного объема печи. Средний коэффициент замены составил 0,69 кг/кг.*

**Ключевые слова:** *коксовый орешек, коэффициент равномерности, бесконусное загрузочное устройство, доменная печь, шихта.*

Для повышения технико-экономических показателей доменной плавки в составе шихты доменных печей используют кокс мелких классов [1]. В условиях ОАО «ММК» применяют коксовую фракцию крупностью 25–40 мм, либо коксовый орешек (10–25 мм), либо их смесь. Загрузка их в доменную печь совместно с железорудной частью шихты может приводить к снижению дренажной способности горна доменной печи [2, 3]. Одной из причин негативного влияния орешка на фильтрующую способность коксовой насадки является неравномерное его распределение по окружности колошника [4]. Особенно это проявляется на печах, оснащенных бесконусным загрузочным устройством лоткового типа [3].

В связи с этим на доменной печи № 4 провели ряд исследований по изучению влияния режима загрузки коксового орешка в бункер БЗУ на ход доменной плавки. В первом периоде орешек располагали первым в нижней части бункера, во втором – последним и третьем – в середину объема шихтовых материалов. Предварительно на физической модели однотрактового компактного загрузочного устройства, изготовленного в масштабе 1:5 по отношению к линейным размерам БЗУ доменных печей № 4 и 6 ОАО «ММК», определили коэффициент равномерности поступления орешка в колошниковое пространство ( $K_{ко}$ ):

$$K_{ко} = 1 - \frac{\sigma_i}{KO_{cp}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_i$  – среднее квадратическое отклонение по массе  $i$ -х порций коксового орешка, поступающих из шихтового бункера;

$KO_{cp}$  – среднее значение поступающих из бункера порций орешка по массе.

Размещение орешка в середине объема материалов обеспечило наиболее высокий коэффициент, равный 0,85 (табл. 1).

В первом периоде коэффициент замены скипового кокса орешком составил 0,64 кг/кг. Во втором он уменьшился до 0,59 кг/кг, что произошло в результате ухудшения фильтрующей способности кокса в горне печи. В периоде III он увеличился до 0,85 кг/кг. Повышение связано с улучшением перемешивания орешка с шихтовыми материалами, в результате которого создаются условия для более полного его расходования до зоны вязкопластичного состояния. Средний коэффициент замены кокса коксовым орешком составил 0,69 кг/кг.

Таблица 1

Основные технологические показатели работы доменной печи

Наименование показателей	Периоды		
	I	II	III
Расход коксового орешка (сухого), кг/т чугуна	19,6	19,8	19,8
Размещение коксового орешка в бункере БЗУ	Низ	Верх	Середина
Удельный расход кокса (сухого, скипового), кг/т чугуна:			
– фактический	440,5	452,8	451,8
– приведенный	461,5	462,3	457,3
Производительность, т/сутки:			
– по фактическому количеству загруженных подач	3454	2971	3434
– приведенная	3014	2821	3085
Коэффициент замены кокса коксовым орешком, приведенный к условиям базового периода, кг/кг	0,64	0,59	0,85

Увеличение равномерности поступления орешка из бункера в периоде III сопровождалось повышением интенсивности по газу и снижением коэффициента сопротивления шихты движению газового потока (табл. 2), рассчитанного по формуле

$$\lambda = h/h_0, \quad (2)$$

где  $h$  – потери напора газа;  
 $h_d$  – динамический напор газа.

Таблица 2

Показатели интенсивности и сопротивления шихты

Показатели	Периоды		
	I	II	III
Размещение коксового орешка в бункере БЗУ	Низ	Верх	Середина
Расход коксового орешка (сухого), кг/т чугуна	19,6	19,8	19,8
Интенсивность по газу, м <sup>3</sup> в минуту на 1 м <sup>3</sup> полезного объема печи:			
– колошниковому	3,12	3,37	3,59
– фурменному	2,79	3,02	3,24
– в распаре	2,92	3,15	3,38
– в шахте	3,01	3,25	3,48
Коэффициент сопротивления шихты движению газов:			
– на колошнике	1,3	1,2	0,8
– в распаре	10,3	8,9	6,6
– в горне	6,1	5,2	3,8

При повышении коэффициента равномерности в периоде III степень прямого восстановления Fe из FeO снизилась с 39,6 до 38,7%, степени восстановления монооксидом углерода и водородом повысились с 29,7 до 30,0% и с 30,7 до 31,3% соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Показатели хода восстановления Fe из FeO

Показатели	Периоды		
	I	II	III
Расход коксового орешка, кг/т чугуна	19,6	19,8	19,8
Степень восстановления Fe из FeO различными восстановителями, %:			
– углеродом	39,6	39,9	38,7
– монооксидом углерода	29,7	33,4	30
– водородом	30,7	26,7	31,3

**Заключение.** Загрузка в доменную печь коксового орешка в количестве 19,7 кг/т чугуна, обеспечив расхождение его в середине объема шихтовых материалов в бункере БЗУ, сопровождалась повышением коэффициента замены кокса коксовым орешком на 25%, снижением коэффициента сопротивления шихты движению газового потока на 36%. Средний коэффициент замены составил 0,69 кг/кг.

## Список литературы

1. Прочностные характеристики коксового орешка различного происхождения / С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 1. С. 19-21.
2. Влияние коксового орешка на фильтрацию жидких продуктов плавки в горне доменной печи / С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, А.В. Чевычелов и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 4. С. 28-30.
3. Об условиях, необходимых для эффективного использования коксового орешка в шихте доменной печи / А.С. Харченко, Е.О. Теплых, А.А. Полинов, и др. // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. трудов / под ред. В.М. Колокольцева. Вып. 10. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 26-30.
4. Об условиях, необходимых для эффективного использования коксового орешка в шихте доменной печи / А.С. Харченко, Е.О. Теплых, В.Л. Терентьев и др. // Теория и технология металлургического производства/ 2010. № 1. С. 26-30.

УДК 621.77

**М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Г.Ш. Рубин,  
К.С. Лукьянова, В.Е. Телегин**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТИ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ТРАВЛЕННОЙ ЛЕНТЫ**

***Аннотация.** Данная статья посвящена вопросам управления качеством поверхности металлопродукции. Рассмотрен новый подход к формированию шероховатости горячекатаной травленной ленты на основе фрактальности структуры.*

***Ключевые слова:** горячекатаная лента, шероховатость поверхности, фрактал.*

По мере развития металлургической промышленности, прокатного производства в частности, происходит освоение новых видов продукции, характеризующихся как внедрением новых материалов, так и использованием классических, с постоянно возрастающими к ним требованиями.

Достаточно большую долю современного рынка металлопродукции занимают изделия с глубокой степенью переработки металла, к которым можно отнести и стальную ленту. ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» представлен широким спектром производимой ленты, как горячекатаной травленной, так и холоднокатаной, включая упаковочную ленту, а также ленту из высокоуглеродистых и легированных марок стали, используемую в различных отраслях народного хозяйства [1].

При рассмотрении процесса изготовления горячекатаной травленой ленты важнейшим критерием качества продукции является шероховатость ее поверхности [2, 3]. Проходя стадии переработки, лента подвергается термическим и деформационным воздействиям, что существенно сказывается на её поверхности (рис. 1).

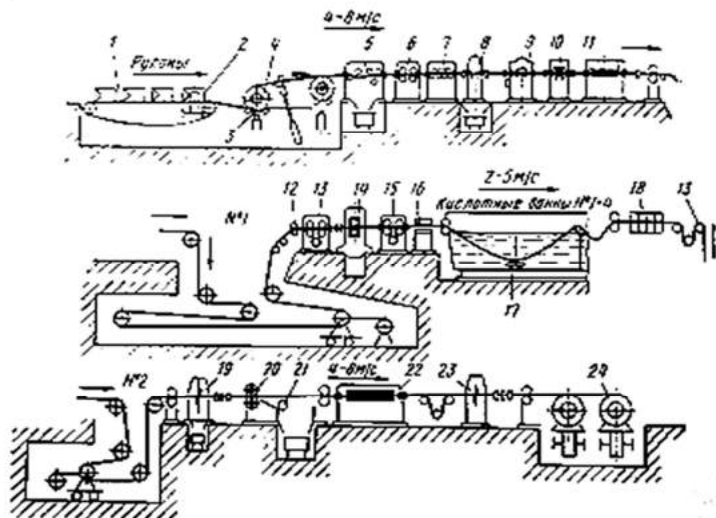


Рис. 1. Технологическая схема работы непрерывно травильного агрегата

От шероховатости поверхности  $R_a$  зависит прочность сцепления с покрываемым материалом, равномерность нанесения покрытий, эстетичный вид получаемой продукции. Поэтому в зависимости от предполагаемых функций дальнейшего использования материала необходимо обеспечить управляемость процессом формирования шероховатости поверхности [4].

Для исследования возможности и выделения параметров шероховатости рассмотрим действующий ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики». В стандарте выделяют следующие параметры:

- $R_a$  – среднее арифметическое отклонение профиля;
- $R_z$  – высота неровностей профиля по десяти точкам;
- $R_{max}$  – наибольшая высота профиля;
- $S_m$  – средний шаг неровностей;
- $S$  – средний шаг местных выступов профиля;
- $tr$  – относительная опорная длина профиля, где  $r$  - значение уровня сечения профиля.

Шероховатость поверхности изображают изломанной линией, представленной на рис. 2, имеющей среднее квадратичное отклонение профиля до базовой линии минимальным.

По ГОСТу высоту неровностей профиля определяют по абсолютным значениям высот наибольших выступов профиля и глубин наибольших впадин профиля в пределах базовой длины [5].



ходной функции на элементарные составляющие – гармонические колебания с разными частотами.

Исходя из вышеизложенного, главными параметрами для описания шероховатости поверхности являются:

- амплитуда;
- период.

Поэтому шероховатость может быть описана двумя наборами чисел:

$A_1, A_2, \dots, A_n; \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ , где  $n$  – количество синусоид,

$A_1 < A_2 < A_3, A_n, \tau_i$  – амплитуда и период соответствующих синусоид.

Удобство такого описания заключается в том, что существующие характеристики числовых рядов позволяют лаконично описать весь ряд. Самое грубое описание включает в себя обозначение границ ряда и количество его членов. В нашем случае такое описание включает  $A_1, A_n$  и  $\tau_{min}, \tau_{max}$ . При более точном подходе можно указать одну из средних характеристик ряда: средняя арифметическая, медиана, мода.

На сегодняшний день рассматриваемый подход на примере шероховатости поверхности является новым и несет в себе аналитический характер. Исследование ведется на базе горячекатаной травленной ленты, производимой в условиях ЛПЦ-8 ОАО «ММК», и находится на стадии эксперимента.

#### Список литературы

1. Исследование возможности создания технологии производства горячекатаной травленной ленты с управляемой шероховатостью поверхности / Э.М. Голубчик, К.С. Хамутских, В.Е. Телегин, И.М. Шебаршова, А.Г. Севастьянов // Производство проката. 2014. № 11. С. 11-15.
2. Исследование возможности производства горячекатаной травленной ленты с нормируемой шероховатостью поверхности / К.С. Лукьянова, М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, В.Е. Телегин // Современное состояние естественных и технических наук: материалы XVIII Международной научно-практической конференции (20.03.2015). М.: Издательство «Спутник +», 2015. С. 54-58.
3. Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1. С.63-68
4. Голубчик Э.М., Чукин М.В., Хамутских К.С. Возможность применения фрактальных множеств при управлении показателями качества в технологических системах // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й международной научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т. 1. С. 213-216.
5. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики [Электронный ресурс]. Взамен ГОСТ 2789 – 59; введ. 1975 – 01 – 01 // СПС «Консультант Плюс».
6. Лукьянова К.С, Голубчик Э.М., Рубин Г.Ш. Исследование процесса управления качеством горячекатаной травленной ленты на основе фрактальности структуры // Science Time. 2015. № 3(15). С. 359-362.

М.А. Михеенков, О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, Д.К. Егизарьян,  
Л.А. Овчинникова, Д.А. Лобанов, Л.А. Маршук

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА РАФИНИРОВОЧНОГО ШЛАКА НА СТОЙКОСТЬ ФУТЕРОВКИ АГРЕГАТА «КОВШ-ПЕЧЬ»

**Аннотация.** Рабочий слой футеровки агрегата «ковш-печь» (АКП), выполненный из периклазографитовых огнеупоров, наиболее сильно подвержен влиянию корродирующих факторов, к которым относятся термическое, механическое и химическое воздействия. Из указанных факторов наиболее сильное разрушающее действие на футеровку оказывает химический фактор. В настоящей статье представлены результаты определения влияния фазового состава шлаков на химическое разрушение периклазографитовой футеровки АКП.

**Ключевые слова:** периклазографитовая футеровка, шлак, фазовый состав, белит.

Среди факторов, оказывающих деструктивное воздействие на футеровку АКП, можно выделить механическое, термическое и химическое воздействие. Химическое воздействие шлака на футеровку является наиболее значимым среди отмеченных факторов. Большинство работ, посвященных химическому воздействию шлаков на футеровку АКП, рассматривает влияние оксидного состава шлака и соотношение основных оксидов на стойкость футеровки [1–7].

Нами изучалось влияние фазового состава рафинировочных шлаков на стойкость футеровки АКП в широком диапазоне фазового состава шлаков, охватывающем все случаи рафинирования стали. Исследования проводились с применением методов симплекс-решетчатого планирования. Фазовый состав шлаков по содержанию основных оксидов  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  находится в области фазовой диаграммы при содержании  $\text{CaO}$  от 40 до 80 масс. %,  $\text{SiO}_2$  от 10 до 50 масс. %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 10 до 50 масс. %.

Помимо основных оксидов шлаки содержали примесные оксиды, всегда присутствующие в рафинировочных шлаках –  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Химический состав модельного шлака приведен в табл. 1.

Таблица 1  
Химический состав модельного шлака

Наименование материала	Содержание в шлаке, масс. %					
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO
Шлак рафинировочный модельный	65,4	14,0	3,4	0,5	9,6	0,4

Варьирование основных оксидов модельного шлака в соответствии с планом проведения эксперимента осуществлялось путем введения в модельный шлак



кварцевого песка, содержащего 98,9% SiO<sub>2</sub> и отходов производства вторичного алюминия (ОПВА). Химический состав ОПВА приведен в табл. 2.

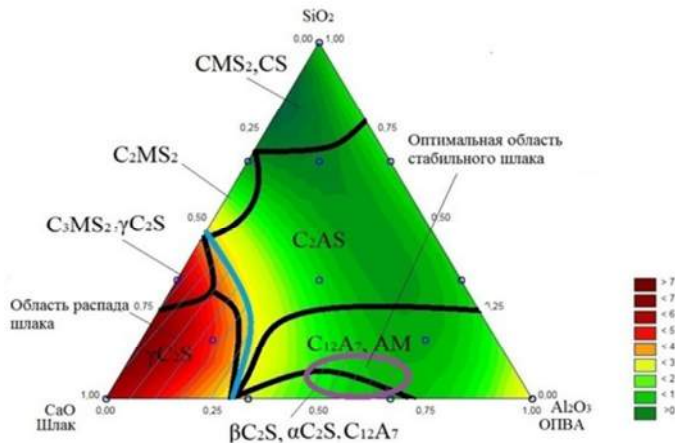
Таблица 2

Химический состав ОПВА

Наименование материала	Содержание в ОПВА, масс. %			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>мет</sub>	NaCl+KCl+NaF+KF+ Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O
Отходы производства вторичного алюминия	20,0-75,0	1,0-10,0	5,0-20,0	5,0-20,0

В соответствии с планом проведения эксперимента модельный шлак смешивался с SiO<sub>2</sub> и ОПВА и помещался в периклазографитовый тигель. На высокотемпературной установке для измерения вязкости шлаковых расплавов тигли с исследуемым образцом шлака нагревались до температуры 1550°C и замерялась вязкость, затем тигли вынимались из печи и помещались в теплоизоляционный блок для медленного охлаждения. В качестве функций отклика рассматривались вязкость шлака при температуре 1550°C, и содержание фаз в шлаке.

На рисунке представлены изолинии функции отклика для вязкости шлака при температуре 1550°C в области факторного пространства и нанесенные на область факторного пространства области существования основных фаз шлака.



Изолинии функции отклика для вязкости шлака при температуре 1550°C и области существования основных фаз шлака

По результатам испытаний можно отметить, что наименьшую вязкость имеют шлаки в области со значительным содержанием SiO<sub>2</sub>. Это связано с гомогенностью шлаков в этой области и стеклообразующими свойствами оксида кремния. Повышение гетерогенности шлаков в областях, в которых возможно образо-

вание твердой фазы, приводит к повышению вязкости. Это происходит в областях с повышенным содержанием CaO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В области со значительным количеством CaO образуется белит, а в области с повышенным содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – тугоплавкая шпинель MgO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Известно, что концентрация MgO в шлаке является наиболее значимым фактором, определяющим стойкость периклазографитовой футеровки АКП, поэтому с использованием данных по химическому составу шлаков в каждой точке факторного плана производился расчет концентрации насыщения MgO в шлаке по модели Охотцкого В.Б. [9] с уточнением Бабенко А.А. [10]. Результаты расчетов сравнивали с фактическим содержанием MgO в каждой точке факторного плана по данным химического анализа шлаков. Вычитая величину предельного насыщения MgO<sub>нас</sub> из фактического содержания MgO<sub>факт</sub> получали дефицит или избыток dMgO в каждой точке факторного плана.

Результаты испытаний показали, что в области факторного плана со значительным содержанием SiO<sub>2</sub> наблюдается значительный дефицит шлака по содержанию MgO. В оптимальной области факторного плана дефицит по MgO отсутствует. В оптимальной области факторного плана шлак также стабилизируется, что предотвращает разрушение футеровки за счет расширения шлака при полиморфных превращениях в порак футеровки.

#### Список литературы

1. Исследование составов ковшевого шлака и периклазохромитовых огнеупоров на стойкость футеровки вакууматора RH / А.В. Ровнушкин, Э.А. Вислогузова, С.А. Спирин, Е.В. Шеховцов, В.В. Кром // ОАО «Черметинформация». Булл. Черная металлургия. 2005. №4. С. 47–50.
2. Исследование влияния составов ковшевого шлака и огнеупоров на стойкость футеровки вакууматора RH / В.А. Ровнушкин, Э.А. Вислогузова, С.А. Спирин, Е.В. Шеховцов, В.В. Кром, А.А. Метелкин // Новые огнеупоры. 2005. №3. С. 33–36.
3. Bruggmann C. MgO Saturation in Secondary Metallurgical Lime-aluminate and Lime-silica Slags / C. Bruggmann, J. Potschke // Steel Research Int, 2011. Vol 82. № 4. P. 422-427.
4. Попель С.И., Сотников А.И., Бороненков В.Н. Теория металлургических процессов: учеб. пособие для вузов. М.: Металлургия, 1986. 463 с.
5. Новиков В. К., Невидимов В.Н. Полимерная природа расплавленных шлаков. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 62 с.
6. Новиков В.К. Развитие полимерной модели силикатных расплавов // Расплавы. 1987. Т. 1. № 6. С. 21 – 33
7. Климов А.В. Модель расчёта растворимости огнеупоров в металлургических шлаках // Новые технологии и материалы в металлургии: сб. науч. тр. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. С. 186–190.
8. Метелкин А.А. Повышение износоустойчивости футеровки агрегатов ковшевой обработки стали: дисс. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2014. 187 с.
9. Охотский В.Б. Модели металлургических систем // Системные технологии. Днепропетровск, 2006. 287 с.

10. Анализ влияния температуры металла, основности и окисленности магнизиальных шлаков на предел насыщения MgO и рафинирующие свойства / А.А. Бабенко, С.М. Челпан, Л.Ю. Кривых и др. // Новые технологии и материалы в металлургии: сб. науч. тр. Екатеринбург, 2005. С. 170-178.

УДК 621.771

М.И. Румянцев

### ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЯ ТЕКУЧЕСТИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕЖИМОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

**Аннотация.** Выполнена модификация методики Л.В. Андреюка для расчета напряжения текучести, которая позволила понизить нижнюю границу доверительного интервала по температуре с 800 до 700°C и повысить верхнюю границу доверительного интервала по обжатию с 30 до 55%.

**Ключевые слова:** автоматизированное проектирование режимов горячей прокатки, напряжение текучести, сталь произвольной химической композиции, коэффициент влияния фазового превращения, коэффициент коррекции по степени и скорости деформации.

Специальное математическое обеспечение задач автоматизированного проектирования режимов прокатки [1] должно содержать модели прогноза предела текучести стали с произвольной химической композицией [2]. Для горячей прокатки за основу такой модели выбрана методика Л.В. Андреюка. Здесь для расчёта напряжения текучести при фактических («истинных») условиях деформирования предлагается следующая зависимость [3]:

$$\sigma_S = \sigma_0 \vartheta^a (10\xi)^b (\theta/1000)^c, \quad (1)$$

где  $\xi$ ,  $\vartheta$  и  $\theta$  – степень, скорость и температура деформации;  $\sigma_0$  – базовое сопротивление деформации при данных стандартных условиях испытаний;  $a, b, c$  – коэффициенты.

Кроме уравнения (1), методика включает аппроксимации, которые отображают зависимости  $\sigma_0$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  от 13 химических элементов (в том числе и микролегирующих). Однако исследования были выполнены в следующих диапазонах термомеханических параметров:  $\xi=0,05-0,30$  (относительное обжатие  $\varepsilon=5-30\%$ );  $\vartheta=0,1-150$  с<sup>-1</sup>;  $\theta=800-1300$ °C. Чтобы расширить доверительный интервал методики Л.В. Андреюка по температуре, предположили, что формулу (1) можно дополнить коэффициентом влияния фазового превращения  $K_{\gamma\alpha}(\theta) \approx Q(\theta)/Q(1000)$ , где  $Q(\theta)$  и  $Q(1000)$  – значения некоторого физиче-

ского свойства стали при температуре  $\theta$  и  $1000^\circ\text{C}$  соответственно. В таком случае формула (1) принимает следующий вид:

$$\sigma_S^* = (\sigma_0 / K_{\gamma\alpha})^a (10\xi)^b (\theta/1000)^c. \quad (2)$$

По итогам ранее выполненного анализа [4] было предложено [5] определять коэффициент  $K_{\gamma\alpha}$  на основе зависимости теплоемкости стали от температуры. Сравнение результатов прогноза предела текучести стали, предназначенной для получения проката категории прочности X70, с результатами расчетов по формулам В.И. Погоржельского и С.В. Денисова показало, что применение формулы (2) снижает погрешность прогноза предела текучести в интервале температур  $700\text{--}800^\circ\text{C}$  от  $100\text{--}250$  до  $10\text{--}25$  МПа (линия 4 на рис. 1).

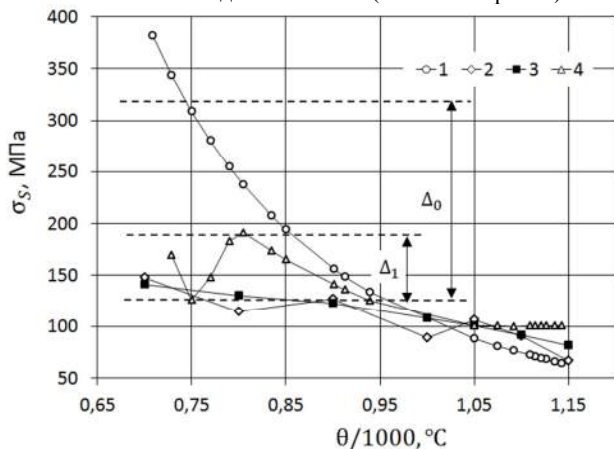


Рис. 1. Зависимость напряжения текучести от температуры при прокатке листа из стали X70:

- 1, 2, 3 – рассчитано формулам Л.В. Андреюка (1), В.И. Погоржельского и С.В. Денисова; 4 – рассчитано по модифицированной формуле Л.В. Андреюка (2)

Дальнейшие исследования результатов применения модифицированной зависимости (2) в широком диапазоне условий, характерных при прокатке на толстолистовом и широкополосном станах [6], показало необходимость добавить в нее коэффициент  $K_{\xi\eta} = \sigma_S^* / \bar{\sigma}_S$ , чтобы компенсировать погрешности формул, использованных для расчета степени и скорости деформации. Здесь  $\bar{\sigma}_S$  – средняя по объему очага деформации величина напряжения текучести, которая находится расчетом при известном усилии прокатки:

$$\bar{\sigma}_S = P / \left[ 1,15 n_\sigma b \sqrt{R(h_0 - h_1)} \right], \quad (3)$$

где  $P$  – усилие прокатки;  $b$  – ширина листа;  $h_0$  и  $h_1$  – толщина до и после прохода;  $R$  – радиус бочки рабочего вала;  $\Delta h$  – абсолютное обжатие;  $n_\sigma$  – коэффициент напряженного состояния. С учетом коэффициента  $K_{\xi\theta}$  формула (2) принимает вид:

$$\sigma_S^{**} = \sigma_0 / (K_{\gamma\alpha} K_{\xi\theta}) \vartheta^a (10\xi)^b (\theta/1000)^c. \quad (4)$$

В развитии результатов работы [6] рассмотрели прокатку в чистовой группе широкополосного стана полос из марок стали 08пс, Ст3пс, 17Г1С и 15ХСНД при следующих условиях процесса деформации:  $\theta=800-1080^\circ\text{C}$ ;  $\xi=0,05-0,55$ ;  $\vartheta=3-175 \text{ c}^{-1}$ . С учетом опыта анализа чистовой прокатки на широкополосном стане [7] коэффициент напряженного состояния определяли по формуле, полученной нами путем множественной аппроксимации графика У. Симса:

$$n_\sigma = 0,692 + 0,008 \frac{R}{h_1} + 1,984\varepsilon + 0,016\varepsilon \frac{R}{h_1} - 2 \cdot 10^{-6} \left( \frac{R}{h_1} \right)^2 - 1,885\varepsilon^2. \quad (5)$$

В результате регрессионного анализа при доверительной вероятности 95% получили следующие аппроксимации коэффициента коррекции по степени и скорости деформации (показатели достоверности 0,941 и 0,945 соответственно):

– для углеродистых марок стали

$$K_{\xi\vartheta} = 1 + 20,1259\alpha^2 + 3,5773\xi^2 + 0,0032\xi R/h_0 - 16,5606\xi; \quad (6)$$

– для низколегированных марок

$$K_{\xi\vartheta} = 0,373 - 9 \cdot 10^{-5} \vartheta^2 + 5,19767\xi - 5,3918\xi^2 + 0,0034m R/h_0. \quad (7)$$

Сравнение наблюдаемых погонных усилий прокатки ( $P_1 = P/b$ ) и рассчитанных при напряжении текучести  $\sigma_S^*$  показало степень соответствия между ними  $R^2=0,884$ , т.е. 88,4% (рис. 2, а). При этом погрешность находилась в пределах от  $\delta_{\min} = -40,3$  до  $\delta_{\max} = +70,5\%$  при среднем значении  $\bar{\delta}=3,5\%$ , а стандартная ошибка оценивания  $S_e=0,79 \text{ кН/мм}$ . Применение для прогноза погонного усилия напряжения текучести  $\sigma_S^{**}$ , рассчитанного с выбором формул (6) или (7) в зависимости от типа стали, повысило степень соответствия прогнозируемого и наблюдаемого усилия прокатки до 96,8% (рис. 2, б). Погрешность уменьшилась до  $\delta_{\min} = -17,6$  и  $\delta_{\max} = +30,4\%$  при  $\bar{\delta}=-0,67\%$ , а стандартная ошибка оценки – до  $S_e=0,36 \text{ кН/мм}$ .

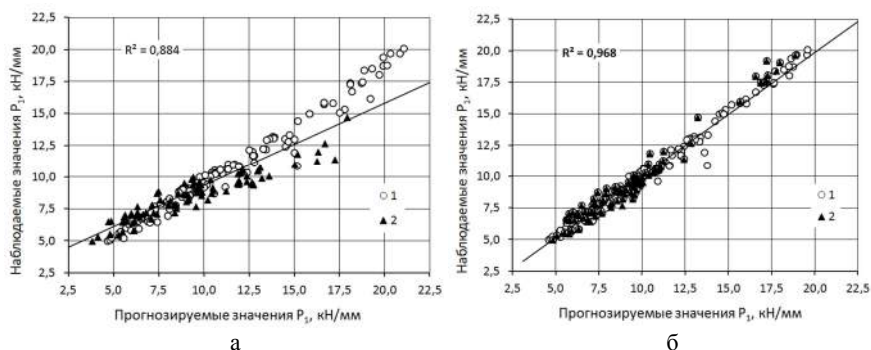


Рис. 2. Диаграммы соответствия прогнозируемых и действительных значений погонного усилия прокатки в чистой группе широкополосного стана углеродистых (1) и низколегированных (2) марок стали:  
а – при расчетах напряжения текучести по формуле (2);  
б – при расчетах напряжения текучести по формуле (4) с выбором коэффициента  $K_{\xi g}$  по формулам (6) и (7)

Таким образом, формула Л.В. Андreyюка, дополненная коэффициентом влияния фазовых превращений  $K_{\gamma\alpha}$ , а также коэффициентом коррекции по скорости и степени деформации  $K_{\xi g}$ , позволяет существенно расширить область ее использования как по температуре, так и по степени деформации. При этом зависимость для расчета  $K_{\xi g}$  должна отображать характерные особенности разновидности процесса прокатки.

#### Список литературы

1. Румянцев М.И. Методика разработки режимов листовой прокатки и ее применение // Вестник Магнитогорского государственного технического университета имени Г.И. Носова. 2003. № 3. С. 16-18.
2. Румянцев М.И. Опыт развития и применения автоматизированного проектирования режимов горячей и холодной прокатки листовой стали разнообразного назначения на станах различных типов // Труды IX Конгресса прокатчиков. Череповец, 16-18 апреля 2013 г. Том II. С. 43-54.
3. Андreyюк Л.В., Тюленев Г.Г., Прицкер Б.С. Аналитическая зависимость сопротивления деформации сталей и сплавов от их химического состава // Сталь. 1972. № 6. С. 522-523.
4. Румянцев М.И., Митасов В.С., Шурыгин В.И. К проблеме расчёта сопротивления деформации сталей при горячей прокатке // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межрегиональный сборник научных трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. С. 55-62.

5. Румянцев М.И. Опыт построения и применения моделей сопротивления деформации для автоматизированного проектирования режимов прокатки // Современные металлические материалы и технологии (СММТ 2013): труды международной научно-технической конференции. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. С. 408-410.
6. Румянцев М.И., Белов В.И., Разгулин И.А. Опыт совершенствования методики Л.В. Андреюка для расчета напряжения текучести при горячей листовой прокатке горячей прокатке // Калибровочное бюро: электрон. науч. журн. Вып. 5. 2015. С. 73-85. URL: [littp://www.passdesign.ni](http://www.passdesign.ni) numbers/ (дата обращения: 20.05.2015).
7. Производство горячекатаного листового проката для замещения холоднокатаного аналогичного назначения: монография / М.И. Румянцев, И.Г. Шубин, Р.А. Исмагилов и др. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 217 с.

УДК 621, 771, 237-418: 678.027.34

**М.П. Барышников, К.С. Царенко**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЛИННОМЕРНЫЕ СТАЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ В УСЛОВИЯХ ООО «УРАЛПРОКАТ»**

***Аннотация.** Коррозия является одним из самых разрушительных явлений для металлов. По сей день защиту от коррозии обеспечивают самые разнообразные материалы, которые наносят различными способами. В статье рассмотрена возможность нанесения полимерных материалов на стальные длинномерные изделия методом экструзии.*

***Ключевые слова:** коррозия, экструзия, поливинилхлоридный пластикат, полимер, экструдер, фильера.*

Современные рыночные отношения представляют собой сложный комплекс взаимодействий производителей и потребителей. Своевременная реакция производителя на постоянно изменяющиеся условия рынка является залогом его успешного и устойчивого развития. Одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность предприятия, является возможность производителя поддерживать баланс собственных и потребительских интересов за счет использования конкурентных преимуществ – значительного накопленного опыта производства, внедрения новых технологических или технических решений, а также путем поддержания высокого качества эксклюзивной продукции [1]. Большинство зарубежных потребителей регламентируют жесткие требования к стабильности и воспроизводимости технологических процессов [2]. Это ведёт к освоению новых видов производства и иных способов нанесения покрытий.

В настоящее время для транспортировки различных грузов применяется стальная упаковочная лента. В процессе эксплуатации лента контактирует с

окружающей средой, что вызывает её коррозионное изнашивание. В качестве защиты от коррозии могут применяться различные покрытия, которые препятствуют образованию коррозионного элемента: полимерные, лакокрасочные или металлические.

Металлические покрытия очень распространены, потому что они не только защищают основу от коррозии, но и придают поверхности ряд важных и полезных свойств: износостойкость, твердость. Горячее цинкование является наиболее распространенным способом защиты черных металлов от атмосферной, водной и почвенной коррозии [3]. Полимерные и лакокрасочные покрытия хороши защитой от атмосферных воздействий и декоративными свойствами. Но лакокрасочные материалы быстро разрушаются под действием агрессивных сред, чего нельзя сказать о полимерных покрытиях. Практика доказала существенные преимущества так называемых комбинированных покрытий (цинковое + полимерное), обеспечивающих максимальный срок службы коррозионной защиты изделия, который увеличивается в 1,5–4 раза по сравнению с одним цинковым покрытием [4].

Современными полимерами, которые наносят на стальную ленту, являются полиэтилен низкой плотности, полиэтилен высокой плотности, поливинилхлоридный пластикат. Выбор покрытия основывается на требуемых характеристиках и свойств материала, которые дают ожидаемый результат от покрытия. Для этого покрытиям дают сравнительную характеристику, которая представлена в таблице.

Сравнительные характеристики полимерных материалов

Характеристика	ПЭНД	ПЭВД	ПВХ
Стойкость к окислению	+++	+++	+++
Стойкость к высоким температурам	++	+++	+++
Стойкость к атмосферным воздействиям	+++	+++	+++
Стойкость к горению	-	-	+++
Водопоглощение	++	+++	++
Стойкость к воздействию кислот	++/+++	+++	+++
Стойкость к воздействию щелочей	++/+++	+++	++/+++

Примечание. ПЭНД – полиэтилен низкого давления, ПЭВД – полиэтилен высокого давления, ПВХ – поливинилхлоридный пластикат. «-» – низкая, «+» – средняя, «+++» – хорошая, «++++» – высокая, «++++» – превосходная [5].

Поливинилхлоридный пластикат и полиэтилен высокого давления обладает примерно одинаковыми свойствами, но с экономической точки зрения материал покрытия поливинилхлорид П-ХВ-716 более выгоден, так как цена его ниже, чем у полиэтилена. Полиэтилен, наряду с широким комплексом положительных свойств, обладает и рядом недостатков (ползучесть, невысокая рабочая температура, недостаточная механическая прочность и в ряде случаев недостаточная химическая стойкость) [6]. Поливинилхлоридные покрытия могут эксплуатироваться в атмосферных условиях любых районов [7].

Сегодня существует несколько способов нанесения полимерных покрытий, а именно: напыление в псевдооживленном слое, метод койл-коатинг и нанесение методом экструзии [8]. Метод нанесения покрытий экструзией самый приемлемый, так как имеет ряд преимуществ: меньшее количество частиц порошка находится во взвешенном состоянии в окружающей среде, что улучшает условия труда рабочих;



более точно регулируется толщина покрытия; небольшие энергозатраты; покрытие имеет большую плотность, чем при других способах нанесения [9]. Основными этапами технологии нанесения полимерных покрытий являются: подготовка поверхности, формирование покрытия, термическая обработка и сушка.

В качестве базового варианта представлена линия для нанесения полимерных покрытий на проволоку. Общий вид экструзионной линии для нанесения оболочки из полимерных материалов на проволоку представлен на рис. 1.

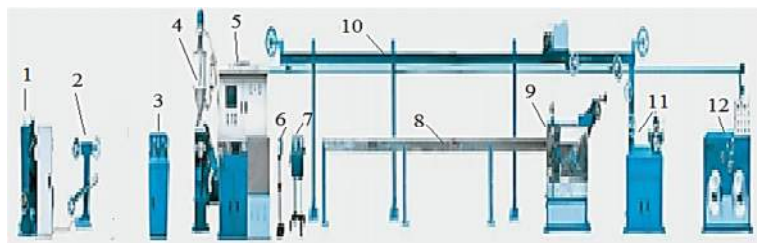


Рис. 1. Высокоскоростной экструдер XM-65+35:

- 1 – отдающее устройство; 2 – устройство натяжения; 3 – устройство выпрямления;  
4 – экструдер; 5 – электрошкаф; 6 – измеритель толщины проволоки; 7 – аппарат для нанесения надписи; 8 – ванна охлаждения; 9 – тяговое устройство;  
10 – накопительная стойка; 11 – счетчик метража; 12 – приемное устройство

Термопластичный материал из бункера поступает в зону загрузки экструдера. Вращающийся шнек увлекает и продвигает материал вдоль цилиндра. За счет трения материала о стенки цилиндра и поверхность шнека, а также при помощи нагревателей материал разогревается до температуры плавления полимера (~150-200<sup>0</sup>С), перемешивается и уплотняется. Высокое давление, возникающее в уплотненной зоне, позволяет продавить вязкий компаунд через фильеру. Выдавленный материал (экструдат) выходит из фильеры [10]. Для осуществления нанесения полимерного покрытия на ленту подобным методом необходимо изменить только профиль поперечного сечения фильеры. Необходимые для этого процесса фильеры представлены на рис. 2.

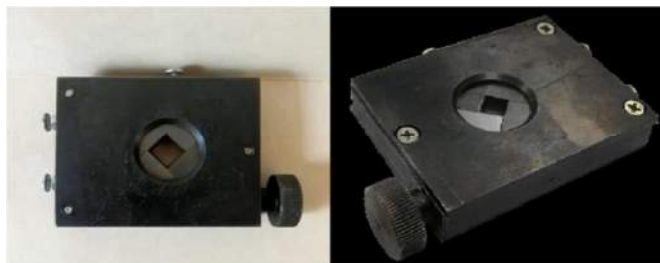


Рис. 2. Фильера квадратная (прямоугольная) регулируемая

Способ двустороннего покрытия ленты методом экструзии представлен на рис. 3:

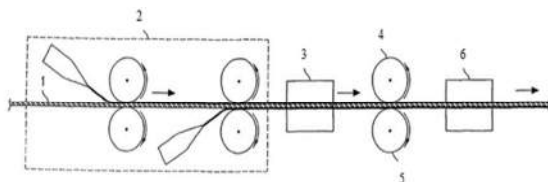


Рис. 3. Схематичное изображение выполнения способа двустороннего покрытия ленты методом экструзии:

1 – лента; 2 – устройство для нанесения покрытия экструзией; 3 – устройство повторного нагрева; 4, 5 – текстурирующие валики; 6 – устройство охлаждения

В примере выполнения по рис. 4 в устройстве 2 для нанесения покрытия экструзией последовательно производят нанесение покрытия экструзией на обе стальные поверхности ленты. Но также возможно нанесение одного экструзионного слоя на стальную ленту 1. Однако между отдельными стадиями осуществления способа экструзии предполагается предусматривать последующие стадии охлаждения для оптимального температурного режима стальной ленты 1. Затем лента 1 снова проходит устройство 3 повторного нагрева, в котором ленту 1 разогревают до пиковой температуры металла выше температуры плавления полимерного материала. При кратковременном подплавлении слоя поливинилхлорида на ленте 1 достигают хорошей адгезии. Однако поверхность покрытия поливинилхлорида при этих температурах разглаживается, поэтому свойства скольжения стальной ленты 1 становятся не оптимальными для дальнейшей обработки.

Для этого лента 1 проходит пару 4, 5 текстурирующих валиков. Оба текстурирующих валика 4 и 5 имеют структуру поверхности на поверхности валиков, так чтобы она отпечатывалась во время прохождения ленты 1 в еще теплом слое полимерного материала. Затем ленту 1 подводят к устройству 6 охлаждения, содержащему либо средство для водяного охлаждения, либо для воздушного. После этого ленту 1 с нанесенным экструзией покрытием наматывают в рулон [11].

Лента оцинкованная стальная упаковочная с полимерным покрытием является одним из лучших упаковочных материалов. Данный вид ленты обеспечит транспортировку продукции без потерь даже при самой агрессивной морской коррозии и может применяться для всех видов промышленных грузов (лес, металлопрокат, целлюлоза, хлопок, пластик, стекло и др.).

#### Список литературы

1. Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1. С. 63-67.
2. Куцендик В.И., Яковлева Е.С., Пермякова О.В. Оценка состояния технологических процессов // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2010. №1. С. 71-75.
3. Рачев Х., Стефанова С. Справочник по коррозии. М.: Мир, 1982. 520 с.

4. <http://zincnn.ru/>
5. <http://www.proekt-ek.ru/articles/item62.html>
6. Чой Д.Д., Уайт Дж. Л. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины. СПб.: Профессия, 2006. 262 с.
7. Галимова Н.Я. Модифицированные поливинилхлоридные композиции и порошковые покрытия специального назначения. М.: Лабиринт, 1994. 367 с.
8. Панматченко А.Д. Переработка пластмасс. СПб.: Профессия, 2005.
9. Тугов И.И., Кострыкина Г.И. Химия и физика полимеров: учеб. пособие для вузов. М.: Химия, 1989. 432 с.
10. Труфанова Н.М., Щербинин А.Г., Янков В.И. Плавление полимеров в экструдерах М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2009. 331 с.
11. <http://www.freepatent.ru/patents/2493921>

УДК 621.74.047

**Е.А. Шевченко, А.М. Столяров, А.Н. Шаповалов**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УЗКИХ ГРАНЕЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ В УСЛОВИЯХ ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»**

**Аннотация.** Для предотвращения выпуклости узких граней слябовой заготовки разработана методика определения рациональной длины роликовой поддерживающей системы, расположенной на раме кристаллизатора. В основу методики положена проверка соотношения между внутренним распирающим давлением жидкого металла и условным пределом текучести затвердевшей корочки заготовки. Экспериментально установлены статистически значимые зависимости условного предела текучести металла разного состава от температуры.

По разработанной методике определена рациональная протяженность поддерживающей системы под кристаллизатором, обеспечивающая предотвращение образования выпуклости узких граней слябовой заготовки с размерами поперечного сечения 270×1200 мм в условиях ОАО «Уральская сталь».

**Ключевые слова:** непрерывнолитой сляб, узкие грани, выпуклость, поддерживающая система, рациональная длина.

В условиях ОАО «Уральская сталь» слябовые непрерывнолитые заготовки сечением 270×1200 мм имеют искажение профиля в виде выпуклости узких граней.

Проведенная в 2013 году модернизация слябовой МНЛЗ, при которой длина поддерживающей системы по узким граням заготовки была увеличена со 120 до 640 мм за счет установки трех пар роликов, позволила практически в 2 раза уменьшить величину выпуклости, но не устранило ее полностью [1, 2].

С целью определения рациональной длины системы, поддерживающей узкие грани сляба, была разработана методика [3–5], основанная на сравнении прочности затвердевшей корочки узкой грани заготовки в различных точках длины отливаемого сляба и расчетного значения распирающего давления жидкого металла на корочку. В результате такого сравнения можно определить точку на технологическом канале МНЛЗ, в которой вышеназванные параметры будут иметь одинаковые значения. Следовательно, для предотвращения образования выпуклости на участке от выхода из кристаллизатора до установленной точки необходимо осуществлять роликовую поддержку узких граней отливаемой заготовки.

В данной методике для предотвращения выпучивания затвердевшей корочки узкой грани непрерывнолитого сляба под воздействием распирающего давления жидкого металла необходимо выполнение неравенства

$$P_{расн\ i} < \sigma_{T_i}, \quad (1)$$

где  $P_{расн\ i}$  – распирающее давление жидкого металла на затвердевшую корочку в центре узкой грани сляба в  $i$ -й момент времени, МПа;

$\sigma_{T_i}$  – условный предел текучести металла затвердевшей корочки в  $i$ -й момент времени, МПа.

В зоне вторичного охлаждения под кристаллизатором затвердевшую корочку узкой грани сляба условно можно рассматривать как балку с жестко закрепленными концами, находящуюся под равномерно распределенной нагрузкой со стороны жидкого металла [6].

Схема воздействия распирающего давления жидкого металла на затвердевшую корочку узкой грани сляба под кристаллизатором показана на рис. 1.

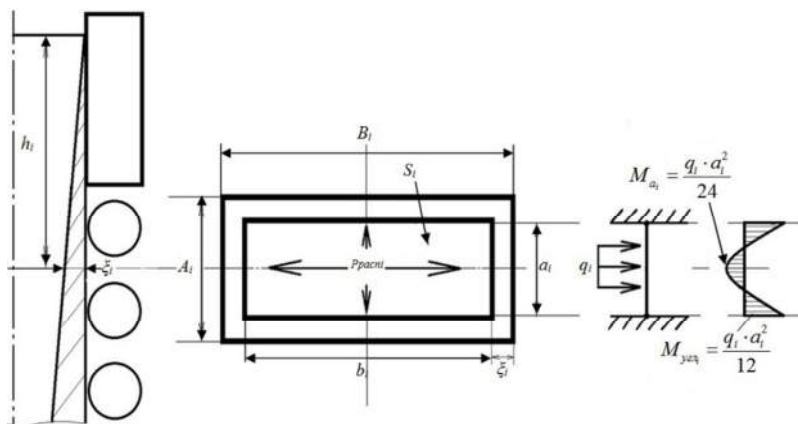


Рис. 1. Схема воздействия жидкого металла на затвердевшую корочку сляба

В результате действия этой нагрузки в затвердевшей корочке возникают изгибающие моменты, а максимальная величина распирающего давления жидкого металла на затвердевшую корочку в центре узкой грани сляба определяется объемом и плотностью жидкого металла, а также геометрическими параметрами заготовки и корочки:

$$P_{расп_i} = \frac{\rho_{жс} \cdot V_{жс_i} \cdot g \cdot (A_i - 2\xi_i)}{4(B_i - 2\xi_i) \cdot \xi_i^2}, \quad (2)$$

где  $\rho_{жс}$  – плотность жидкого металла, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{жс_i}$  – объем лунки жидкого металла в *i*-й момент времени, м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$A_i, B_i$  – толщина и ширина отливаемого сляба в *i*-й момент времени с учетом термического конуса, м;

$\xi_i$  – толщина затвердевшей корочки сляба в *i*-й момент времени, м.

Для предотвращения выпучивания затвердевшей корочки узкой грани сляба согласно выражению (1) необходимо, чтобы величина распирающего давления жидкого металла не превышала прочности корочки. При учете возможности пластической деформации затвердевшей корочки (без образования трещин) в качестве критерия прочности следует использовать условный предел текучести разлитой стали.

В результате механических испытаний на установке Zwick/Roell Z 1200H в условиях ОАО «Уральская сталь» были получены экспериментальные зависимости условного предела текучести металла  $\sigma_T$ , кПа, от температуры  $t$ , °С, для трех наиболее распространенных марок стали разного химического состава в температурном интервале 1200–1400°С [7-9]:

$$- 09Г2С \quad \sigma_T = 0,01171t^2 - 35,433t + 27737, \quad \eta = 0,908;$$

$$- 15ХСНД \quad \sigma_T = 0,01369t^2 - 41,10t + 31793, \quad \eta = 0,929;$$

$$- Ст3сп \quad \sigma_T = 0,01021t^2 - 31,583t + 25227, \quad \eta = 0,915.$$

Высокие значения корреляционного отношения (более 0,9) свидетельствуют о статистической значимости полученных зависимостей.

Меньшую прочность имеет сталь марки Ст3сп, поэтому определение рациональной протяженности поддерживающей системы узких граней сляба необходимо произвести для условий отливки данной марки углеродистой стали.

При расчете прочности корочки по полученным зависимостям использовали температуру металла, рассчитываемую как среднее значение между температурой поверхности узкой грани заготовки и температурой ликвидус.

Температура поверхности слябовой заготовки в зоне вторичного охлаждения определялась согласно зависимости, полученной на основании экспериментальных замеров температуры поверхности в центре узкой грани сляба  $t_{пов_i}$ , °С, по длине отлитой заготовки  $l_i$ , мм, [9]:

$$t_{пов_i} = 1968 \times l_i^{-0,0761}, \quad \eta = 0,964. \quad (6)$$

С использованием разработанной методики были проведены расчеты прочности корочки и значений распирающего давления жидкого металла по длине отливаемой заготовки для слябов сечением 190×1200 мм (со скоростью вытягивания 1,25 м/мин) и 270×1200 мм (со скоростью 0,9 м/мин) из стали марки Ст3сп. Результаты расчета представлены на рис. 2.

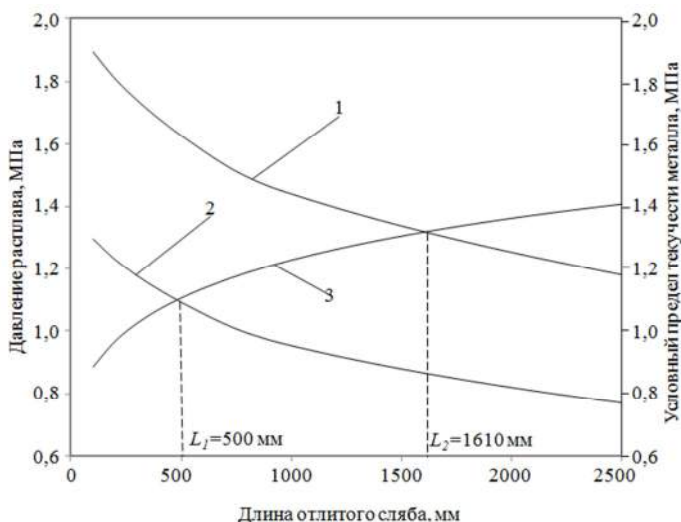


Рис. 2. Изменение прочности корочки и внутреннего давления расплава на корочку узкой грани по длине слябов разного сечения из стали марки Ст3сп:

- 1 – давление расплава на корочку в слябе сечением 270×1200 мм;
- 2 – давление расплава на корочку в слябе сечением 190×1200 мм;
- 3 – условный предел текучести корочки из стали марки Ст3сп

Анализ рис. 2 показывает, что в слябе сечением 190×1200 мм затвердевшая оболочка узкой грани уже на расстоянии 500 мм от зеркала металла в кристаллизаторе способна выдерживать внутреннее давление расплава, то есть тогда, когда заготовка находится еще внутри кристаллизатора. Поэтому образования выпуклости узких граней отливаемой заготовки толщиной 190 мм не происходит.

Совсем иная картина наблюдается при отливке сляба с размерами поперечного сечения 270×1200 мм. В этом случае затвердевшая оболочка узкой грани заготовки начинает выдерживать распирающее давление расплава на значительно большем удалении от зеркала металла – 1610 мм. С учетом того, что высота металла в кристаллизаторе составляет 800 мм (при величине недолива расплава, равной 100 мм, в кристаллизатор высотой 900 мм) длина поддерживающей системы узких граней заготовки должна быть не менее 810 мм.

Таким образом, для слябовой МНЛЗ ОАО «Уральская сталь» рекомендуется увеличить длину поддерживающей системы узких граней заготовки с 640 до 820

мм за счет установки дополнительной пары роликов диаметром 130 мм и удлинения системы охлаждения по торцам заготовки.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения данного мероприятия составит 5,7 млн руб. в год.

#### Список литературы

1. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение искажения поперечного сечения непрерывнолитого сляба // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. №1. С. 34-37.
2. Шаповалов А.Н., Шевченко Е.А., Столяров А.М. Рациональная длина поддерживающей системы узких граней непрерывнолитого сляба для условий ОАО «Уральская сталь» // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №1. С.38-42.
3. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Методика определения рациональной длины поддерживающей системы узких граней непрерывнолитого сляба для предотвращения выпучивания // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №3(47). С. 32-36.
4. О рациональной длине поддерживающей системы узких граней непрерывнолитой заготовки для предотвращения выпуклости / Е.А. Шевченко, А.М. Столяров, А.Н. Шаповалов, К.В. Баранчиков // Изв. вузов. Черная металлургия. 2015. №1. С.39-43.
5. Shevchenko E.A., Stolyarov A.M., Shapovalov A.N., Baranchikov K.V. Preventing convexity at the narrow faces of continuous-cast billet // Steel in Translation. 2015. T. 45. № 1. P. 29–32.
6. Буланов Л.В., Константинов Г.В. Расчет напряженного состояния роликов МНЛЗ при пластических деформациях // Динамика и прочность металлургических машин: сб. науч. тр. / М.: ВНИИМЕТМАШ, 1984. С. 38–46.
7. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение механических свойств поверхностного слоя непрерывнолитой слябовой заготовки // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №2. С.38-41.
8. Шевченко Е.А. Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение влияния химического состава и температуры на механические свойства непрерывнолитой стали // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й международной научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Т.1. С. 205-209.
9. Шевченко Е.А., Столяров А.М. Прогнозирование температуры поверхности слябовой заготовки в зоне вторичного охлаждения на основе экспериментальных данных // Наука и производство Урала. 2014. №10. С. 74-76.

**О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, М.А. Михеенков, Д.К. Егизарьян,  
Л.А. Овчинникова, Б.А. Иванов, Е.П. Герцберг, Л.А. Маршук**

## **ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЯ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ**

**Аннотация.** Изложены результаты промышленных плавов стали на ряде предприятий с использованием отходов производства вторичного алюминия (ОПВА). Показано, что ОПВА (пыль переплава алюминия) оказывает раскисляющее действие на шлаки и служит эффективным заменителем плавикового шпата.

**Ключевые слова:** шлак, ОПВА, внепечная обработка, ковш, футеровка.

ОПВА содержат большое количество  $Al_2O_3$  и до 20% металлического алюминия и могут использоваться в качестве флюсующей и раскисляющей добавки в ковшевой шлак при обработке стали. В данной статье мы приводим некоторые результаты промышленных испытаний флюсов, изготовленных на основе ОПВА (см. таблицу). Результаты исследования ОПВА также изложены и в других работах [1-7].

Химический состав флюса ФРАДО, масс. %

Наименование показателя	Ед. изм.	Величина	
		ФРАДО -1 – Сорт Б	ФРАДО -1 – Сорт А
Содержание алюминия металлического	%	5,0-10,0	$\geq 10,0$
Содержание оксида алюминия, не менее	%	50,0*	65,0*
Содержание оксида магния, не более	%	12,0	12,0
Содержание оксида кремния, не более	%	10,0	10,0
Содержание оксидов К и Na, в сумме не более	%	20,0	10,0
Содержание влаги, не более	%	1,5	1,0
Содержание серы, в пересчете на ион не более	%	0,3	0,15
Размеры брикетов (овальная форма)	мм	45 × 25 × 15	

Испытания на ОАО «Ижсталь». Шлакообразующий материал использовался при выплавке полупродукта в ДСП-25 (для последующей обработки на установке ВКО нержавеющей стали 12Х18Н10Т) и при обработке металла на установке вакуумно-кислородного обезуглероживания (ВКО).

При выплавке полупродукта для 12Х18Н10Т в ДСП-25 флюс присаживался после продувки металла кислородом для разжижения шлака окислительного пе-



риода взамен плавикошпатового концентрата, а также для восстановления хрома из шлака в металл.

По варианту технологии, который не предусматривал снижения количества штатного раскислителя шлака (алюминиевой сечки), усвоение хрома составило 94,4% (плавка на легированных отходах с частичным окислением). По другому варианту с полным исключением сечки усвоение хрома составило 91,3%. При этом на серийных плавках без использования флюса усвоение хрома составляет 84,8%.

Шлаки ДСП-25 при выплавке 12X18N10T содержат до 50% оксидов хрома сразу после продувки кислородом, что делает шлак чрезвычайно густым, поэтому полностью заменить шпат флюсом ФРАДО не удалось. Получить жидкоподвижный раскисленный шлак получилось, используя смесь ФРАДО и шпата в соотношении 1:2, при массе шпата 100 кг.

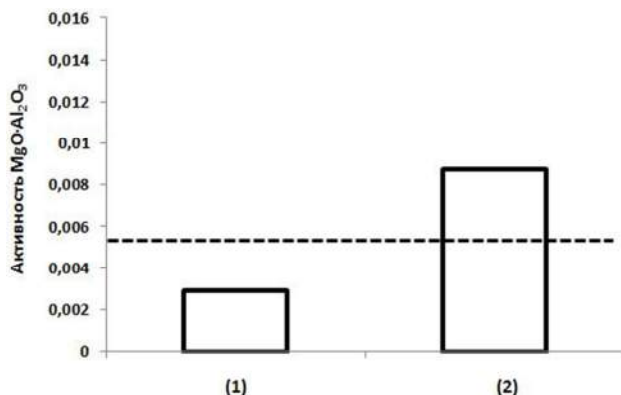
В то же время экономический эффект от использования флюса-раскислителя был очевидным. Дело в том, что флюс производится на основе пыли, получающейся при переплаве вторичного алюминия, она содержит не более 20% мелкодисперсного алюминия. Мелкодисперсный алюминий в таком бедном сырье экономически невыгодно выделять в виде чистого алюминия, например при последующих переплавах на товарный алюминий. То есть алюминий в данном сырье не имеет стоимости для производителей алюминия, и флюс может поставляться на сталеплавильные заводы по цене, близкой к стоимости плавикового шпата, без учета содержания алюминия. Таким образом, алюминий в этом флюсе практически бесплатный, но он «работает» как раскислитель сталеплавильного шлака, снижая угар ферросплавов и потребность в чушковом алюминии. Другие варианты ОПВА – шлаки переплава алюминия – менее выгодны. В них значительная доля королек алюминия имеет размер 5–50 мм, и содержание алюминия выше, чем в пыли. Это делает экономически оправданной переработку шлаков переплава алюминия для выделения металлического алюминия, и алюминий в этом сырье имеет ценность как потенциальный продукт. Поэтому сырье с повышенным содержанием алюминия (шлаки, а не пыли переплава алюминия) в 3–4 раза дороже.

Также на ОАО «Ижсталь» проведены плавки с использованием ФРАДО на ВКО с целью замены шпата и раскислительной смеси (ферросилиций и ал. сечка), которая вводится в ковш после вакуумного обезуглероживания. Усвоение хрома на установке ВКО при обработке опытных плавков нержавеющей стали с использованием ФРАДО составило 99,4%, а степень десульфурации 65,2%, что находится на уровне плавков по рядовой технологии: 99,6% и 65,6% соответственно. Технологических осложнений при использовании нового флюса на установке ВКО не выявлено. По визуальной оценке жидкоподвижность шлака при использовании ФРАДО и шпата находилась на одинаковом уровне.

Таким образом, в условиях ОАО «Ижсталь» показана возможность замены плавикового шпата и экономии ферросплавов. Заводом принято решение продолжать исследования с целью изучения влияния флюса на стойкость футеровки (на продолжительных кампаниях плавков) и внедрения флюса при выплавке других марок стали.

ОАО «ММК». В августе-сентябре 2014 г. в конвертерном цехе проводились испытания флюса ФРАДО при вакуумировании стали. Цель испытаний заключалась в оценке возможности использования флюса в качестве нейтрализатора шлака, снижающего влияние шлака на стойкость футеровки вакуум-камеры. На ис-

пытаниях выяснилось, что ФРАДО способствует повышению содержания  $Al_2O_3$  в шлаке в 5 раз сильнее, чем штатный нейтрализатор, а также снижает содержание FeO примерно на четверть, что благоприятно для футеровки. С использованием данных химического анализа шлаков была рассчитана активность  $MgO \cdot Al_2O_3$  (основной компонент гарнисажа) для исследованных шлаков (см. рисунок) [7]. Из рисунка следует, что после ввода флюса активность шпинели возрастает, и она всегда превышает активность насыщения (0,0053) при  $1550^\circ C$ . То есть из всех обработанных флюсом шлаков на поверхности огнеупоров должен осаждаться гарнисаж. В необработанных шлаках этот процесс менее выражен, поскольку активность шпинели ниже.



Активности  $MgO \cdot Al_2O_3$  в двух шлаках плавки № 13969 и активность насыщения  $MgO \cdot Al_2O_3$  :  
1 – шлак до обработки флюсом; 2 – после

#### Список литературы

1. Способы повышения стойкости футеровки циркуляционных вакууматоров в «ЕВРАЗ НТМК» / А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, Э.А. Вислогузова, В.М. Кулик, В.В. Левчук // Сталь. 2013. № 9. С. 49–53.
2. Оценка влияния агрессивности технологических факторов на износ алюмопериклазоуглеродистых изделий, применяемых в футеровке сталеразливочного ковша / А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, В.В. Левчук, С.П. Малинин, И.В. Некрасов // Сталь. 2013. № 4. С. 29–31.
3. Технологические особенности переработки сталеплавильных шлаков в строительные материалы и изделия / Л.И. Леонтьев, О.Ю. Шешуков, В.С. Целелев, М.А. Михеенков, И.В. Некрасов, Д.К. Егиазарьян // Строительные материалы. 2014. № 10. С. 70–74.
4. Увеличение времени эксплуатации и надежности работы футеровки вакуумкамер / О.Ю. Шешуков, С.В. Виноградов, Э.А. Вислогузова, В.В. Левчук, А.С. Ткачев, А.А. Метелкин, И.В. Некрасов // Сталь. 2012. № 1. С. 20–21.
5. Испытание теплоизоляционной шлакообразующей смеси, изготовленной на основе отходов производства вторичного алюминия и торфа / В.С. Гуляков,

- О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, А.С. Вусихис, Д.З. Кудинов // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Вып. 10. С.63-67.
6. Техногенные материалы – сырье для производства шлакообразующих / О.Ю. Шешуков, В.С. Гуляков, И.В. Некрасов, А.Н. Шаманов, А.С. Вусихис, Д.З. Кудинов // Экология и промышленность России. 2012. № 12. С.51-53.
  7. Методика оценки вязкости промышленных шлаков / И.В. Некрасов, О.Ю. Шешуков, В.Н. Неведимов, С.А. Истомин // Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 21-24.

УДК 621.789

**И.Г. Шубин, С.А. Левандовский, Н.И. Шубина**

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЧИСТОВЫХ КАЛИБРОВ НА КАЧЕСТВО СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРОСТОЙ ФОРМЫ**

**Аннотация.** Рассмотрена постановка вопроса оценки и определения качества сортовых профилей простой формы. Представлены факторы, оказывающие влияние на изменчивость качества профиля в процессе прокатки. Показано, что комплексный показатель качества, являясь результатом обобщения единичных показателей, позволяет оценивать уровень качества продукции и пути его роста.

**Ключевые слова:** сортовой профиль, калибры, геометрические параметры, статистические методы анализа, регрессионные зависимости, показатели качества.

Технологический процесс производства сортовых профилей простой формы должен обеспечить стабильность воспроизводства заданного комплекса показателей качества при массовом изготовлении продукции. Геометрическая форма сечения профиля и его размеры являются одними из важных показателей качества.

Определение влияния геометрических параметров калибра и оценка этого влияния на качество проката позволит управлять процессом формоизменения, снизить количество брака и улучшить результативность производства.

Для достижения указанной цели важное значение имеет создание модели взаимосвязи показателей качества с геометрическими размерами калибра, определяющими форму профиля, и технологическими факторами процесса прокатки.

Проводимые ранее исследования многих авторов [1–5] с использованием как метода наименьших квадратов (МНК), так и статистических методов были направлены на определение величины уширения. В качестве факторов, влияющих на уширение, в основном использовали обжатие, параметры очага деформации, межклетевые усилия. Процесс формоизменения и поведения металла на участках межвалкового зазора сводился к обобщенному прогнозированию кривизны бокового контура полосы.

Учитывая то, что форма и особенно размеры параметров калибра определяют процесс формоизменения металла в калибре и профиль боковой поверхности,

можно утверждать, что отсутствие знаний о влиянии изменчивости размера параметров калибра приводит к сужению области применения известных зависимостей и снижению точности рассчитываемых параметров.

В процессе конструирования калибра определение его параметров во многих случаях сводится к расчету высоты и ширины калибра и априорному принятию остальных геометрических параметров.

Принимая во внимание большую изменчивость параметров калибра, необходимо выбрать метод построения модели, адекватно описывающий данный процесс.

Использование статистических методов анализа [6-9] позволяет упростить понимание изменчивости исследуемых параметров и процессов и, следовательно, ускорит решение проблем и повышает действенность применяемых технологий.

Статистические методы применимы при измерении, описании, анализе, интерпретации и моделировании такой изменчивости, даже при относительно ограниченном количестве данных. Статистический анализ таких данных позволяет лучше понять природу, масштаб и причины изменчивости, способствуя, таким образом, решению и даже предупреждению проблем, которые могут быть результатом такой изменчивости.

Наибольшее распространение среди статистических методов для описания и прогнозирования показателей качества продукции получил множественный регрессионный анализ [7-9]. Он широко используется во многих производствах, в частности для прогнозирования качества катанки в зависимости от химического состава стальной заготовки, скорости прокатки и выборе рациональных температурных режимов.

Предварительный экспертный опрос позволил отметить особую роль влияния чистовых калибров на качество геометрии профиля.

Среди рассчитываемых параметров калибра необходимо выделить следующие:

- высота калибра определяется размером готового профиля, коэффициентом температурного расширения металла, допусками на готовый размер;
- на ширину калибра влияет процесс протекания деформации в калибре, степень его заполнения;
- выбор радиусов сопряжения наклонных участков калибра с образующей валка зависит от габаритных размеров калибра и определяет форму боковой поверхности прокатываемого профиля;
- величина зазора должна учитывать особенности настройки клетки, исключать получение некондиционной продукции (образование «уса», изменение формы поперечного сечения профиля и т.д.).

Оценка влияния геометрических параметров чистового калибра (глубина вреза, радиусы закругления, зазор и т.д.) на качество геометрии готового профиля позволит повысить адекватность разрабатываемой модели.

Рассчитывая величину единичных показателей качества с учетом данных факторов и определяя общий уровень комплексного показателя, возможно оценивать уровень качества продукции и вероятные пути его роста.

#### Список литературы

1. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инарович Ю.В. Калибровка прокатных валков. М.: Металлургия, 1987. 368 с.

2. Минкин А.В. Расчет вытяжных калибров. М.: Metallurgy, 1989. 208 с.
3. Эффективность деформации сортовых профилей / Тулупов С.А., Гун Г.С., Онискив В.Д. и др. М.: Metallurgy, 1990. 280 с.
4. Николаев В.А. Уширение металла при прокатке // Теория и практика металлургии. 1997. № 3. С. 8–10.
5. Бахтинов Ю.Б., Тарасевич Ю.Ф., Пименов А.Ф. К учету влияния межклетевых сил на величину уширения при непрерывной прокатке // Производство проката. 2007. № 10. С. 2–5.
6. Гун Г.С. Управление качеством высокоточных профилей. М.: Metallurgy, 1984. 152 с.
7. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика, 1987. 239 с.
8. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. М.: Диалектика, 2007. 917 с.
9. Румянцев М.И., Шубин И.Г., Митасов В.С. Особенности автоматизированного проектирования режимов прокатки на ШСГП при решении задачи обеспечения стабильности контрольных параметров процесса и полосы // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 4. С.42–45.

УДК 669.15-198

**Е.А. Щеголева**

## **РАЗРАБОТКА СВС-ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АЗОТИРОВАННЫХ ЛИГАТУР НА ОСНОВЕ МАРГАНЦА**

***Аннотация.** Представлены новые лигатуры на основе нитридов марганца для легирования азотсодержащих сталей. Предложен способ получения таких лигатур, основанный на технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Выполнены термодинамические расчеты адиабатических температур горения металлического марганца и его сплавов в азоте. На основании полученных экспериментальных данных приведены характеристики синтезируемых легирующих материалов.*

***Ключевые слова:** азот, нитриды, лигатура, горение, самораспространяющийся высокотемпературный синтез.*

В настоящее время происходит увеличение объемов выпуска сталей, содержащих азот. Их применение эффективно по технико-экономическим показателям в сравнении с традиционными малоуглеродистыми сталями. Достигнуты очень высокие показатели механических и эксплуатационных свойств таких сталей. Коррозионно-стойкие стали, конструкционные низколегированные марганцовистые стали, высокопрочные низколегированные стали, рельсовые стали – тот небольшой перечень сталей, в которых введение азота улучшает их свойства.

Существует обширная номенклатура азотированных лигатур с положительным опытом применения при выплавке сталей. Азотированные лигатуры на ос-

нове марганца удобны в использовании для сталей, содержащих в своем составе как азот, так и марганец. Марганец, являясь одним из наиболее дешевых легирующих элементов, оказывает благоприятное влияние на процессы, совершающиеся при термической обработке сталей. А совместное введение марганца и азота позволяет провести одновременное легирование и азотирование стали [1].

Известны два метода получения азотированных лигатур на основе марганца, отличающиеся агрегатным состоянием азотируемого материала. Сущность первого состоит в насыщении твердого порошка марганца молекулярным азотом. Особенностью второго метода является азотирование материала на основе марганца в жидком состоянии. При азотировании материала на основе марганца в жидком состоянии содержание азота не превышает 1–2% [2]. В то время как твердофазный процесс обеспечивает получение лигатуры с содержанием азота не менее 8%.

Исходя из вышесказанного, наибольший интерес представляет проведение азотирования материала на основе марганца в твердом состоянии, которое долгое время осуществляли исключительно печными технологиями. Печная технология заключается в выдержке в атмосфере азота в вакуумной печи сопротивления порошка электротермического или электролитического металлического марганца (фракция < 3 мм) при 950–1000°C в течение 16 ч. Для производства азотированных марганцевых лигатур на Запорожском ферросплавном заводе также применяли печную технологию, сырьем в этом случае является порошок силикотермического марганца. Марганец измельчали до фракции примерно 2 мм в шаровой мельнице в атмосфере азота. Процесс осуществлялся в вакуумной электропечи при давлении не ниже 133 Па и температуре 950–1000°C, общая продолжительность азотирования составляла 70 ч. Содержание азота в спеке достигало 4–6%, расход на 1 т продукта электроэнергии составлял 1300–1400 кВт·ч, а азота примерно 18 м<sup>3</sup> [3, 4].

Перспективной технологией производства азотированных лигатур является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). СВС представляет собой процесс перемещения волны химической реакции по реагирующей шихте с образованием твердых конечных продуктов. Для осуществления данного процесса необходим специальный режим протекания сильной экзотермической реакции (реакции горения), в котором тепловыделение локализовано в слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи [3].

Важной задачей в области исследования процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза является оценка максимальных температур, развивающихся при горении. В соответствии с методикой, предложенной Н.П. Новиковым [4], был произведен расчет адиабатической температуры горения нитридов марганца. Расчет температуры горения проводился в предположении адиабатичности процесса (отсутствия теплопотерь из зоны реакции) для случая полного превращения реагентов. Расчет велся с учетом того, что в процессе горения конечный продукт состоит из нитридов марганца  $Mn_4N$  и  $Mn_3N_2$ , а реакции их образования имеют вид:



Выражение для изменения энтальпии продуктов горения, включающих нитриды марганца  $Mn_4N$  и  $Mn_3N_2$ , будет иметь вид:

$$(1-\mu) \cdot (\Delta H_{T_0}^{T_{ад}})_{Mn_4N} + \mu \cdot (\Delta H_{T_0}^{T_{ад}})_{Mn_3N_2} = (1-\mu) \cdot Q_{Mn_4N} + \mu \cdot Q_{Mn_3N_2}, \quad (3)$$

где  $(\Delta H_{T_0}^{T_{ад}})_{Mn_4N}$  и  $(\Delta H_{T_0}^{T_{ад}})_{Mn_3N_2}$  – изменение энтальпии образования нитридов марганца при повышении температуры от начальной  $T_0$  до адиабатической температуры горения  $T_{ад}$ ;

$Q_{Mn_4N}$ ,  $Q_{Mn_3N_2}$  – тепловые эффекты образования нитридов марганца;

$\mu$  – количество  $Mn_3N_2$  в продуктах горения.

Изменения энтальпии образования нитридов марганца  $Mn_4N$  и  $Mn_3N_2$  определяются по формулам:

$$(\Delta H_{T_0}^{T_{ад}})_{Mn_4N} = \int_{T_0}^{T_{ад}} C_{Mn_4N}(T) dT; \quad (4)$$

$$(\Delta H_{T_0}^{T_{ад}})_{Mn_3N_2} = \int_{T_0}^{T_{ад}} C_{Mn_3N_2}(T) dT. \quad (5)$$

Согласно [7] теплоемкости  $C_{Mn_4N}$  и  $C_{Mn_3N_2}$  равны и выражаются в следующем виде:

$$C_{Mn_4N} = 92,78 + 127,7 \cdot 10^{-3} \cdot T; \quad (6)$$

$$C_{Mn_3N_2} = 94,2 + 94,2 \cdot 10^{-3} \cdot T. \quad (7)$$

Результат расчета при начальной температуре  $T_0 = 293$  К представлен на рис. 1.

Анализ данных, представленных на рис. 1 показывает, что при любом соотношении нитридов марганца  $Mn_4N$  и  $Mn_3N_2$  в готовом продукте адиабатическая температура горения марганца в азоте составляет не более  $1400^\circ\text{C}$ . Многочисленные экспериментальные исследования показывают, что СВС обычно удается реализовать в системе с адиабатической температурой горения выше  $1500^\circ\text{C}$  [4]. Следовательно, для осуществления проведения процесса твердофазного азотирования марганца в режиме горения необходимо использовать дополнительный источник тепла.

В условиях научно-технической производственной фирмы «Эталон» были проведены исследования по получению азотированных лигатур на основе марганца, в результате чего была подтверждена возможность проведения реакции в системе «марганец-азот». На основе полученных данных была разработана промышленная технология производства азотированных лигатур на основе марганца в реакторах с рабочим объемом  $0,15 \text{ м}^3$  с применением дополнительного источника тепла, т.е. так называемая технология сопряженного СВС-процесса.

На основе расчетных термодинамических данных была показана возможность азотирования материалов на основе марганца в режиме горения при любом соотношении нитридов марганца  $Mn_4N$  и  $Mn_3N_2$  в продукте, лишь с применением дополнительного источника тепла.

Дополнительный нагрев шихты непосредственно в реакторе позволил провести в режиме самораспространяющегося синтеза реакцию насыщения электролитического марганца азотом, с получением продукта в виде спеченного азотированного металлического марганца (рис. 2), основные параметры которого представлены в табл. 1, 2, также такой продукт не засорен различными примесями и оксидными включениями. Такие лигатуры соответствуют требованиям ГОСТа и подходят для легирования сталей с регламентированным содержанием азота.

Таблица 1  
Состав исходных материалов на основе марганца

Марка марганца / ферромарганца	Содержание элементов, масс. %				
	Mn	C	Si	P	S
	не менее	не более			
Mn998	99,8	0,04	-	0,003	0,03
Mn997	99,7	0,06	-	0,005	0,10
Mn965	96,5	0,10	0,8	0,05	0,05
Mn95	95,0	0,20	1,8	0,07	0,05
ФMn90	Св. 85,0 до 95,0 включ.	0,5	1,8	0,3	0,02
ФMn88	Св. 85,0 до 95,0 включ.	2,0	3,0	0,4	0,02

Таблица 2  
Состав и свойства азотированных лигатур на основе марганца

Содержание элементов, масс. %	Mn	N	C	Si	P	S
	87,0-88,5	6,0-8,8	0,1-0,2	0,5-1,8	0,005-0,07	0,02-0,1
Плотность, г/см <sup>3</sup>	4,5 – 5,0					
N:Mn (по массе)	1:10					

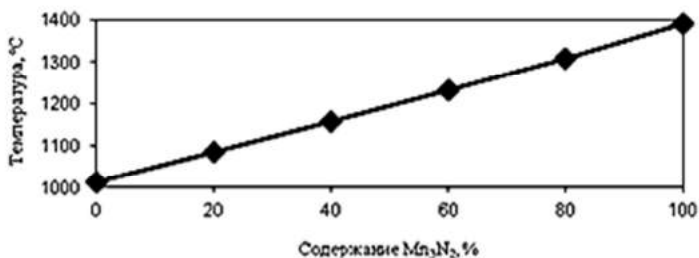


Рис. 1. Влияние соотношения компонентов на адиабатическую температуру горения в системе  $Mn_4N - Mn_3N_2$





Рис. 2. Внешний вид электролитического металлического марганца и азотированного электролитического марганца технологией СВС

#### Список литературы

1. Опыт выплавки стали в современной дуговой печи с повышенным расходом твердого чугуна / В.А. Бигеев, А.Х. Валиахметов, Бурак Йенер, А.Н. Федянин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С.15-18.
2. Буданов Б.А., Колесников Ю.А. Обеспечение требуемого содержания азота в трансформаторной стали // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 2 (15). С. 56-59.
3. Мержанов А.Г. Твердопламенное горение. Черноголовка: ИСМАН, 2000. 224 с.
4. Новиков Н.П., И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. Термодинамический анализ реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Процессы горения в химической технологии и металлургии. Черноголовка: ИСМАН, 1975. С. 174–188.

УДК 621.778

Г.Н. Гурьянов, С.И. Платов, В.В. Рузанов, К.К. Ярославцева

#### **ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПРОВОЛОКИ И УГЛА ВОЛОЧЕНИЯ НА СТЕПЕНЬ СНИЖЕНИЯ РАДИАЛЬНОЙ СИЛЫ НА ВОЛОКУ ОТ ДЕЙСТВИЯ ПРОТИВОНАТЯЖЕНИЯ**

**Аннотация.** Приведены результаты расчёта величины коэффициента использования противонатяжения по И.Л. Перлину при волочении проволоки из материала с разными кривыми упрочнения. Показан рост степени влияния формы кривой упрочнения на величину коэффициента  $\gamma_q$  с увеличением степени деформации в процессе волочения. В зависимости от параметров деформации коэффициент  $\gamma_q$  может быть больше единицы, что указывает на эффективность применения противонатяжения с целью снижения радиальной силы на волоку.

**Ключевые слова:** волочение, проволока, методика расчёта, разгрузка волоки от радиальной силы, модели упрочнения, эффективность противонатяжения.

Противонатяжение снижает радиальную силу на рабочий вкладыш волоочильного инструмента и тем самым уменьшает силу контактного трения и температуру в очаге деформации [1, 2]. Положительное влияние противонатяжения на снижение радиальной силы предложено оценивать коэффициентом использования противонатяжения [2]:

$$\gamma_q = \frac{P_0 - P_q}{Q}, \quad (1)$$

где  $Q$  – сила противонатяжения;  $P_0, P_q$  – соответственно радиальная сила на волоку до и после приложения противонатяжения.

Рассмотрим две модели упрочнения:

$$\sigma_S = \sigma_{S0} \mu^k, \quad (2)$$

$$\sigma_S = \sigma_{S0} + m \cdot \varepsilon^n = \sigma_{S0} + m \cdot (Ln \mu)^n, \quad (3)$$

где  $\sigma_{S0}$  – предел текучести металла на входе рабочего конуса волоки;  $k$  – коэффициент упрочнения (2);  $\mu = (r_0 / r_k)^2$  – коэффициент вытяжки;  $r_0, r_k$  – радиус заготовки до и после деформации;  $m, n$  – эмпирические коэффициенты модели (3);  $\varepsilon = Ln \mu$  – степень деформации. Зависимость (3) позволяет представлять более сложные формы кривых упрочнения, чем степенная функция (2), так как включает три постоянных коэффициента, а первая эмпирическая формула (2) – два.

Для модели (2) численным методом определена величина коэффициента  $\gamma_q$  и показано, что величина этого коэффициента может быть больше 1 [3]. Здесь необходимо отметить несколько иное утверждение о величине коэффициента  $\gamma_q$  [2], которое исключает возможность её превышения 1, но предполагает, «что уменьшение нагрузки на волоку меньше противонатяжения. Поэтому противонатяжение как полезный фактор, уменьшающий нагрузку на волоку, может быть использовано лишь частично».

Для кривых упрочнения (2) и (3) предложены соответственно аналитические зависимости для расчёта коэффициента использования противонатяжения [4]:

$$\gamma_q = \frac{\mu - 1}{\mu \cdot tg \alpha} \cdot \left( 1 - \frac{f(\mu^k - 1)}{k \cdot tg \alpha} \right), \quad (4)$$

$$\gamma_q = \frac{\mu - 1}{\mu \cdot tg \alpha} \left( 1 - \frac{f}{tg \alpha} \left( \ln \mu + \frac{m \cdot (\ln \mu)^{n+1}}{\sigma_{S0}(n + 1)} \right) \right), \quad (5)$$

где  $\alpha$  – угол наклона образующей рабочего канала волоки;  $f$  – коэффициент трения.

В отечественных источниках научно-технической информации недостаточно данных о величине радиальной силы на волоку [5–9] и не изучено влияние интенсивности упрочнения материала проволоки и основных параметров деформации на величину коэффициента  $\gamma_q$  использования противонатяжения И.Л. Перлина.

Приняли следующие модели упрочнения:

$$\sigma_{S1} = 1000 \mu^{0,25}, \text{ МПа} \quad (6)$$

$$\sigma_{S1} = 1000 \mu^{0,75}, \text{ МПа} \quad (7)$$

$$\sigma_{S3} = 1000 + 1250 (\ln \mu)^{1,778}, \text{ МПа} \quad (8)$$

$$\sigma_{S4} = 1000 + 500(\ln \mu)^{0,767}, \text{ МПа} \quad (9)$$

$$\sigma_{S5} = 1000 + 250(\ln \mu)^{1,778}, \text{ МПа} \quad (10)$$

$$\sigma_{S6} = 1000 + 1250(\ln \mu)^{0,767}, \text{ МПа} \quad (11)$$

На рис. 1 приведены результаты расчёта показателя использования противонапряжения  $\gamma_q$  при коэффициенте трения 0,075,  $\alpha = 5^\circ$  (а, б) и  $\alpha = 8^\circ$  (в) моделей упрочнения (6) – (11). Для уточнения взаимного расположения кривых вдоль оси ординат дополнительно построены графики б, в при изменении коэффициента вытяжки от 1,3 до 1,4.

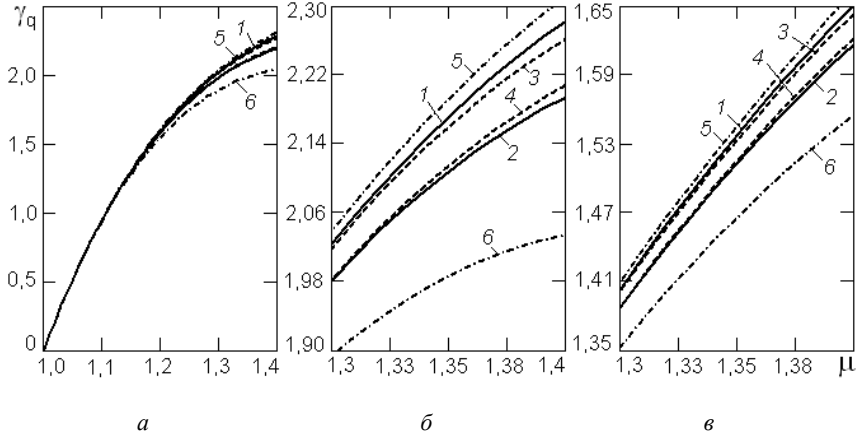


Рис. 1. Коэффициент  $\gamma_q$  использования противонапряжения в зависимости от коэффициента вытяжки при  $f = 0,075$  и  $\alpha = 5^\circ$  (а, б) и  $\alpha = 8^\circ$  (в): 1 – модель (6); 2 – (7); 3 – (8); 4 – (9); 5 – (10); 6 – (11)

При интенсивном упрочнении и высоком среднем пределе текучести в очаге деформации модели (11) коэффициент  $\gamma_q$  меньше, что показывает кривая 6 рис. 1. Более высокие значения коэффициента  $\gamma_q$  показывает кривая 5 при менее интенсивном упрочнении модели (10). Кривые 3 и 4 при увеличении коэффициента вытяжки от 1,3 до 1,4 расходятся при  $\alpha = 5^\circ$  (б) и  $\alpha = 8^\circ$  (в), хотя кривые упрочнения 3 и 4 рис. 1 на этом интервале изменения коэффициента вытяжки сближаются. При  $\mu < 1,4$  кривая 4 для материала с несколько большим средним пределом текучести находится ниже, чем кривая 3 для менее прочного материала при этой степени деформации. То есть сравнение расположения двух пар кривых 5 и 6, 3 и 4 позволяют сделать вывод, что для модели упрочнения (3) характерна закономерность: чем интенсивнее упрочнение при равном исходном пределе текучести, тем меньше коэффициент  $\gamma_q$  использования противонапряжения. Это наблюдается также при модели упрочнения (2): кривая 2 при коэффициенте  $k$  упрочнения 0,75 находится ниже кривой 1 при  $k = 0,25$ . В интервале значений коэффициента вытяжки 1,3–1,4 заметно влияние величины угла  $\alpha$  на коэффициент  $\gamma_q$ : при  $\alpha = 5^\circ$  (б) показатель  $\gamma_q$  больше, чем при  $\alpha = 8^\circ$  (в). При существенном различии форм кривых упрочнения имеем незначительное отличие форм линий для коэффициента  $\gamma_q$ , особенно при коэффициенте вытяжки менее 1,2 (рис. 2).

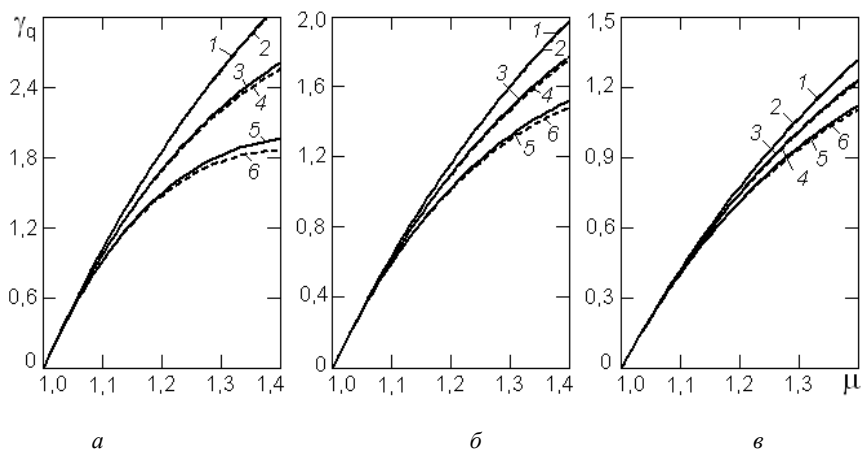


Рис. 2. Коэффициент  $\gamma_q$  использования противонапряжения в зависимости от коэффициента вытяжки:

$a - \alpha = 5^\circ$ ;  $b - \alpha = 8^\circ$ ;  $v - \alpha = 12^\circ$ ; 1, 2 -  $f = 0,01$ ; 3, 4 -  $f = 0,05$ ; 5, 6 -  $f = 0,10$ ;  
 нечётные номера (сплошные линии) – модель  $\sigma_s = 1000 \mu^{0,25}$  (6);  
 чётные (штриховые линии) –  $\sigma_s = 1000 + 500 (\ln \mu)^{0,767}$  (9)

На рис. 2. показаны зависимости коэффициента  $\gamma_q$  от коэффициента вытяжки для двух моделей упрочнения:  $\sigma_s = 1000 \mu^{0,25}$  и  $\sigma_s = 1000 + 500 (\ln \mu)^{0,767}$ . Приняли три значения угла  $\alpha$  (5, 8 и  $12^\circ$ ) и коэффициента трения (0,01, 0,05 и 0,10). Данные рис. 2 показывают рост коэффициента  $\gamma_q$  с уменьшением угла  $\alpha$  и коэффициента трения. Сравнение расположения пар кривых 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6 даёт основание для вывода, что коэффициент  $\gamma_q$  незначительно зависит от формы кривой упрочнения в заданном диапазоне изменения коэффициента вытяжки. Это более проявляется при большем значении угла  $\alpha$  и меньшем значении коэффициента трения: кривые 1 и 2 при  $f = 0,01$ , 3 и 4 при  $f = 0,05$  почти слились при  $\alpha = 12^\circ$  (v). Сам же коэффициент  $\gamma_q$  существенно зависит от коэффициента вытяжки. Необходимо отметить, что величина коэффициента  $\gamma_q$  может быть больше единицы. Таким образом, данные рис. 1, 2 показывают эффективность применения противонапряжения с целью снижения радиальной силы на волоку, что уменьшает в ней величину растягивающих тангенциальных напряжений и тем самым вероятность её раскола от их действия.

На рис. 3 приведены зависимости коэффициента  $\gamma_q$  разгрузки И.Л. Перлина от коэффициента  $k$  упрочнения модели (2) при разных значениях угла  $\alpha$ , коэффициентов трения и вытяжки.

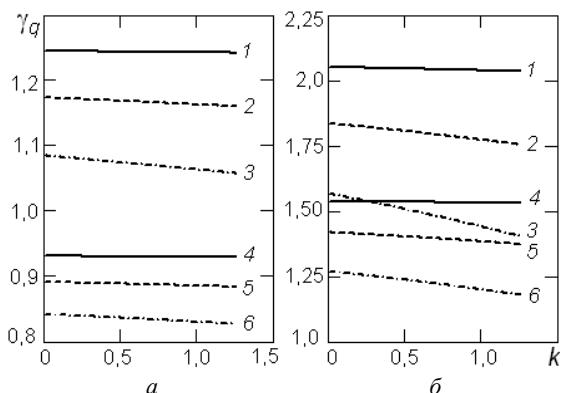


Рис. 3. Коэффициент  $\gamma_q$  при коэффициенте вытяжки 1,25 (а) и 1,50 (б) в зависимости от коэффициента  $k$  упрочнения:  
 1–3 –  $\alpha = 9^\circ$ ; 4–6 –  $\alpha = 12^\circ$ ; 1, 4 –  $f = 0,01$ ; 2, 5 –  $f = 0,05$ ; 3, 6 –  $f = 0,10$

Сравнение расположения пар линий 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 на рис. 3 позволяет оценить влияние изменения угла  $\alpha$  от  $9^\circ$  до  $12^\circ$  на величину показателя  $\gamma_q$  при соответствующих значениях коэффициента трения 0,01; 0,05 и 0,10. Рост угла  $\alpha$  от  $9^\circ$  до  $12^\circ$  вызвал более заметное изменение величины  $\gamma_q$ , чем увеличение коэффициента упрочнения от 0 до 1,25. Линии 4 – 6 при  $\alpha = 12^\circ$  и  $\mu = 1,25$  (а) незначительно удалены друг от друга. То есть проявляется меньшее влияние величины коэффициента трения на показатель  $\gamma_q$  при этих значениях угла  $\alpha$  и коэффициента вытяжки  $\mu$ . Линии 1 и 4 при  $f = 0,01$  почти параллельны оси абсцисс, что указывает на незначительное влияние коэффициента  $k$  упрочнения на величину  $\gamma_q$  при малых значениях коэффициента трения.

**Выводы.** Выполнен расчёт величины коэффициента  $\gamma_q$  использования противонапряжения по И.Л. Перлину при разных моделях упрочнения материала круглого сплошного профиля. Показан рост степени влияния формы кривой упрочнения на величину коэффициента  $\gamma_q$  с увеличением степени деформации в проходе волочения. В зависимости от параметров деформации коэффициент  $\gamma_q$  может быть больше единицы, что указывает на эффективность применения противонапряжения с целью снижения радиальной силы на волоку.

#### Список литературы

1. Тарнавский А.Л. Эффективность волочения с противонапряжением. М.: Металлургиздат, 1959. 152 с.
2. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1971. 447 с.
3. Гурьянов Г.Н. Оценка эффективности противонапряжения при волочении круглой заготовки // Сталь. 2013. № 11. С. 63–70.
4. Гурьянов Г.Н. Оценка эффективности применения противонапряжения для разгрузки волокна от радиальной силы // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 3. С. 59–60.

5. Гурьянов Г.Н. Расчёт, анализ напряжений, деформаций и запаса прочности при холодном волочении проволоки: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 358 с.
6. Гурьянов Г.Н. Радиальная сила на волоку в зависимости от способа учёта упрочнения металла и основных параметров деформации проволоки // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 11 С. 7–11.
7. Гурьянов Г.Н. Радиальная сила на волоку и запас прочности при волочении проволоки // Изв. вуз. Чёрная металлургия. 2010. № 2. С. 19–22.
8. Платов С.И., Терских Д.С. Технологические особенности обработки арматурной проволоки путем отпуска под натяжением // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 27–30.
9. Гурьянов Г.Н. Аналитические зависимости для расчёта оптимального угла рабочего конуса волюки // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2010. № 1. С. 43–52.

УДК 669.018.472:620.179.15

**Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, Д.М. Чукин**

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ ИНВАРНЫХ СПЛАВОВ С МИНИМАЛЬНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ**

**Аннотация.** *Представлены результаты исследований влияния закалки и последующего отжига на структуру, твердость и температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) высокопрочных инварных сплавов нового поколения на базе системы Fe-Ni-C с дополнительным легированием ванадием и молибденом.*

**Ключевые слова:** *высокопрочные инварные сплавы; закалка; отжиг; структура; твердость; температурный коэффициент линейного расширения.*

### **Введение**

Одной из важнейших характеристик инварных сплавов, применяемых во многих областях техники и промышленности, является аномально низкое значение ТКЛР ( $\alpha < 3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ) в определенном интервале температур [1]. Вместе с тем современные тенденции в области точного машиностроения и приборостроения выставляют повышенные требования к их уровню прочности и твердости. Между тем сплавы традиционных химических составов, преобладающая часть которых создана на основе системы Fe-Ni в области концентраций 30–40% Ni, не обладают необходимыми значениями прочности даже после упрочняющих обработок [2, 3].

В связи с этим в последнее время были созданы новые типы высокопрочных инварных сплавов с минимальными значениями ТКЛР на основе системы Fe-Ni и

Fe-Ni-Co с дополнительным введением в них углерода и легированием карбидообразующими элементами [4, 5].

Целью настоящей работы является изучение особенностей структуры, механических и тепловых свойств, формирующихся при термической обработке сплавов инварного класса системы Fe-Ni-C-V и Fe-Ni-C-Mo с минимальным значением ТКЛР.

### **Материал и методика исследования**

Эксперименты проводились на образцах инварных сплавов Fe–32,5 Ni–0,76 C–1,5 V и Fe–34,7 Ni–0,4 C–1,0 V–2,3 Mo, которым условно было присвоено название 32НУФ и 34НУФМ соответственно.

Сплавы были выплавлены в вакуумной индукционной печи и затем прокованы в прутки. Термическая обработка образцов заключалась в следующем [6, 7]:

– закалка от температуры 1200 и 1250°C (с охлаждением в воде и в масле) для максимального насыщения твердого раствора углеродом и карбидообразующими элементами;

– нагрев закаленных образцов до температур от 300 до 800°C для распада пересыщенного твердого раствора.

Микроструктура исследовалась на оптическом микроскопе Meiji Techno с использованием системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO и с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6490 LV. Микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) проводился с использованием приставки к сканирующему микроскопу INCA Energy.

Микротвердость оценивалась методом вдавливания алмазной пирамиды на твердомере Buehler Micromet в соответствии с ГОСТ 9475-76.

Определение ТКЛР проводилось на образцах диаметром 10 мм и длиной 80 мм на комплексе Gleeble 3500. В качестве измерительного прибора использовался высокоточный дилатометр, точность измерений которого составляла 0,4 мкм. Термический режим проведения испытаний соответствовал ГОСТ 14080-78.

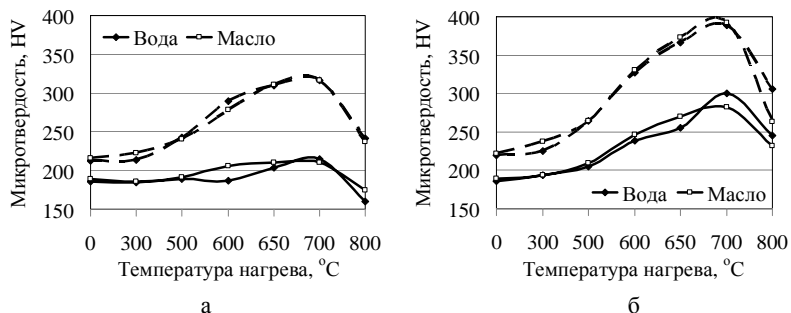
### **Результаты исследования и их обсуждение**

Закалка в воде обеспечила получение гетерогенной структуры, состоящей из зерен  $\gamma$ -твердого раствора и частиц карбидов, количество и размер которых по сравнению с исходным состоянием уменьшились. Результаты МРСА показали, что в спектрах, полученных от матрицы обоих сплавов, кроме пиков Fe, Ni, и C, обнаруживаются пики легирующих элементов V и Mo. Эти факты свидетельствуют о растворении карбидной фазы при нагреве под закалку и насыщении  $\gamma$ -твердого раствора указанными элементами. Однако даже при нагреве до 1250°C полного растворения частиц не происходит.

После закалки твердость сплав 32НУФ с более высоким содержанием углерода оказалась выше твердости сплава 34НУФМ, причем при повышении температуры нагрева наблюдался заметный рост зерна в сплавах обоих составов [8]. Однако твердость при этом не уменьшалась (см. рисунок).

Металлографический анализ и МРСА показали, что при нагреве закаленных сплавов происходит выделение дисперсных частиц карбидной фазы, размер которых составляет от 60 до 200 нм, причем частицы такого размера сохранялись вплоть до температуры 800°C. Наиболее активное выделение таких частиц отме-

чалось при нагреве в интервале температур 650–700°C, что сопровождалось возрастанием твердости. При дальнейшем повышении температуры нагрева до 800°C во всех случаях происходило снижение твердости на 40–70 HV, что связано с процессом коагуляции упрочняющих частиц. Следует отметить, при исследованных режимах отжига (за исключением одного) сплавы 32НУФ и 34НУФМ показали низкое значение ТКЛР ( $< 3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ).



Изменение микротвердости при отжиге сплавов 32НУФ (пунктирная линия) и 34НУФМ (сплошная линия), закаленных от 1200°C (а) и 1250°C (б)

### Заключение

Результаты исследования показали, что в углеродосодержащих инварных сплавах, дополнительно легированных ванадием и молибденом, может быть существенно (почти в 2 раза) повышена твердость (до 320–400 HV), что достигается закалкой от температуры 1250°C с последующим старением при 650–700°C. При этом сохраняются низкие значения ТКЛР ( $\alpha < 3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ).

*Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор № 02.G25.31.0040); государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации № 11.1525.2014К).*

### Список литературы

1. Прецизионные сплавы: справочник / под ред. Б.В. Молотилова. М.: Металлургия, 1983. 438 с.
2. Захаров А.И. Физика прецизионных сплавов с особыми тепловыми свойствами. М.: Металлургия, 1986. 97 с.
3. Сагарадзе В.В., Старченко Е.И., Путин В.Г. Магнитное упорядочение и механические свойства аустенитных сплавов системы Fe-Ni // Физика металлов и металлургия. 1986. Т. 62. №. 6. С. 1144-1155.
4. Шамилов Т.Г. Разработка новых типов высокопрочных инварных сплавов системы Fe-Ni-C: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 01.04.07 / Т. Г. Шамилов. М., 1992. 25 с.



5. Высокопрочные инварные сплавы / Родионов Ю.Л., Щербединский Г.В., Максимова О.П., Юдин Г.В. // Сталь. 2000. № 5. С. 76-80.
6. Исследование физико-механических свойств и структуры высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения / М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Г.С. Гун, Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, Д.М. Чукин, А.Н. Матушкин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 43-47.
7. Особенности формирования комплекса физико-механических свойств в высокопрочных инварных сплавах / Н.В. Копцева, Э.М. Голубчик, Ю.Ю. Ефимова, Д.М. Чукин, Е.М. Медведева, Ю.Л. Родионов, И.А. Кормс // Сталь. 2014. № 4. С. 97-99.
8. Особенности формирования структуры при закалке высокопрочных инварных сплавов с низким температурным коэффициентом линейного расширения / Н.В. Копцева, Д.М. Чукин, Ю.Ю. Ефимова, О.А. Никитенко, Э.М. Голубчик // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2014. № 1 (40). С. 27-32.

УДК 658.511.5:683

**Г.Ш. Рубин, Р.Н. Абдрахманова**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ S-ОБРАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Аннотация.** *Исследована возможность использования двухзвенной S-образной кривой для описания динамики производства чугуна, стали, готового проката, добычи нефти организацией ОПЕК. Установлена удовлетворительная сходимость фактических и расчетных данных.*

**Ключевые слова:** *двухзвенная S-образная кривая, технологическое прогнозирование, S-образные кривые, динамика технического параметра.*

Первое упоминание об S-образном развитии систем можно отнести к середине 19 века для прогноза населения страны (Ферхюльст, Пьер Франсуа, логистические кривые) [1], кривая Гомперца (Бенджамин Гомперц, 1799–1865), кривая Перла (Раймонд Перл, 1870–1940).

В 1975 г. Г.С. Альтшуллер использовал S-образные кривые для прогнозирования развития технических систем [2].

Исследования, проводимые в различных областях знаний, показали, что модели, основанные на S-образных кривых, достаточно хорошо описывают динамику самых разнообразных природных, технико-экономических и социокультурных процессов. В монографии Дж. Мартино [3] приведены различные примеры процессов, хорошо подчиняющихся S-образной модели развития:

- увеличение веса тыквы по мере ее роста на грядке;
- количественный рост популяции дрожжевых бактерий.

Для таких кривых характерно: асимптотическое стремление к 0 при уменьшении времени  $t$  и стремление к некоторому верхнему пределу  $L$  с ростом времени; наличие периода ускоренного роста – до момента  $t_b$ ; наличие периода замедления роста – после момента  $t_b$ .

Для описания этих зависимостей используются, в частности, уравнения Перла-Рида, Гомперца.

$$P = \frac{L}{1 + a^{-bt}} \quad (1)$$

Эти формулы получены как решения дифференциальных уравнений, описывающих развитие популяций живых организмов. Обоснования правомерности использования этих формул основано на некоторых аналогиях между биологическими, с одной стороны, и экономическими и техническими процессами, с другой стороны [3, 5].

Одним из недостатков такого подхода является отсутствие в математической модели начала и конца процесса. В реальных процессах, развивающихся в конечный промежуток времени, невозможно интерпретировать асимптотическое стремление к какой-либо величине. Это снижает возможность использования модели, в частности, для прогнозирования исследуемых процессов. Эти соображения вызвали потребность разработать другую математическую двухзвенную S-образную модель, представленную на рис. 1 [4].

Обозначим интервал времени развития процесса  $[t_0, t_f]$ , соответствующие значения исследуемого показателя:

$$P(t_0) = P_0, \quad P(t_f) = P_f. \quad (2)$$

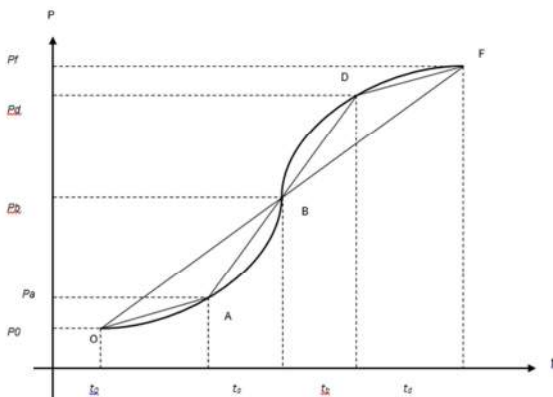


Рис. 1. Элементы двухзвенной S-образной модели

$$P(t) = V \frac{(t - t_0)^2}{t_b - t_0} + P_0, \quad t_0 \leq t \leq t_b; \quad (3)$$

$$P(t) = -V \frac{(t_f - t)^2}{t_f - t_b} + P_f, \quad t_b \leq t \leq t_f,$$

где  $V = \frac{P_f - P_0}{t_f - t_0}$  — средняя скорость роста показателя за период исследования.

Особенностями этой кривой являются непрерывность, плавность роста (непрерывность первой производной); наличие точек начала и конца предела, вся кривая определяется тремя реперными точками: O, A, B, C, D, F.

Авторами проведена апробация этой модели на известном статистическом материале. Рассмотрена динамика добычи нефти организацией ОПЕК (рис. 2), динамика производства чугуна (рис. 3), стали (рис. 4) и готового проката (рис. 5).

Эксперимент заключался в аппроксимации значений статистических и расчетных данных двухзвенной S-образной модели.

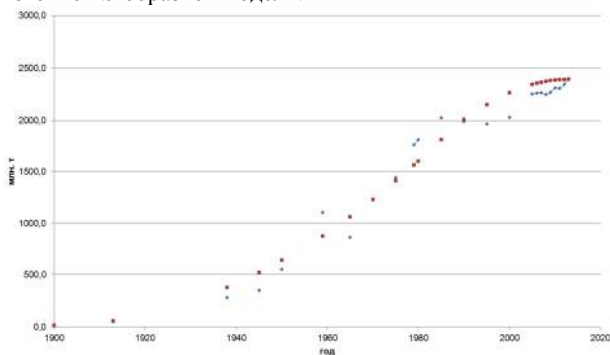


Рис. 2. Динамика добычи нефти ОПЕК и двухзвенной S-образной модели

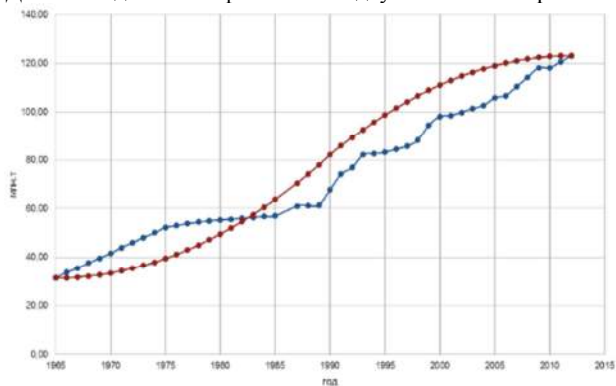


Рис. 3. Динамика производства чугуна и двухзвенной S-образной модели



Рис. 4. Динамика производства стали и двухзвенной S-образной модели

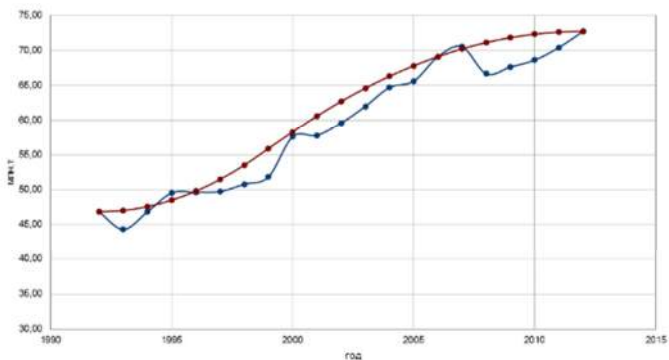


Рис. 5. Динамика производства готового проката и двухзвенной S-образной модели

Точность приближения оценивалась по относительному отклонению в каждой точке и среднеквадратичному отклонению. Среднеквадратичное отклонение не превышает 6% по добычи нефти ОПЕК (см. рис. 2), 5% по производству чугуна на (см. рис. 3), 8,5% по производству стали (см. рис. 4) и 5% по производству готового проката (см. рис. 5), а относительное отклонение в 8 точках более 10% по добыче нефти ОПЕК, в 21 точке более 10% по производству чугуна, в 22 точках более 10% по производству стали и нет точек, в которых более 10% по производству готового проката.

В заключение следует отметить, что двухзвенная S-образная модель является перспективной для дальнейших исследований. Также данная модель может быть использована как в металлургической промышленности, так и в любой другой.

#### Список литературы

1. Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population, dans Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, 1845, no. 18, pp. 1-42.
2. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. ТРИЗ. М.: Сов. радио, 1979. 184 с.
3. Мартино Дж. (MARTINO JOSEPH P.). Технологическое прогнозирование: пер. с англ. Technological Forecasting for Decisionmaking NEW YORK – 1972. М.: Прогресс, 1977. 592 с.
4. Рубин Г.Ш., Полякова М.А., Гун Г.С. Моделирование технологического трансформирования на основе S-образных кривых развития // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №1. С. 70-75.
5. Семенычев В.К., Семенычев Е.В. Информационные системы в экономике. Экономическое моделирование инноваций. Ч. 1: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. 66 с.

**Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРИСТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аннотация.** *Представлены комплексные малоотходная технология добычи и переработки нерудных строительных материалов, где вскрышная порода при добыче силикатного песка может использоваться в технологии получения некоторых пористых строительных материалов на основе аглопорита и керамического кирпича, метод определения теплофизических характеристик различных материалов.*

**Ключевые слова:** *пористые строительные материалы, аглопорит, состав шихты, спекание, древесные опилки, торф.*

При производстве аглопорита преимущественно применяют природные глинистые породы, хотя с экономической точки зрения для этой цели целесообразно использовать отходы промышленности. Добавки выбирают с учетом наличия местных сырьевых ресурсов и характеристик основных компонентов шихты. При избыточном количестве топлива в топливосодержащем сырье в шихту вводят возврат, а также горелую или глинистую породу, а при недостатке топлива – уголь или углесодержащую добавку. Введение в шихту древесных опилок (до 10%) и лигнина (до 25% по объему) увеличивает пористость и ускоряет процессы горения топлива и спекания. Добавка сухой золы тепловых электростанций (ТЭС) снижает влажность обводненных глин и расход топлива за счет содержащихся в ней прокаленных минералов и несгоревшего углерода. Добавки вводят для улучшения гранулирования и повышения прочности гранул при их транспортировании и обжиге. Содержание топлива в шихте при использовании глинистых пород обычно 6–8%, золы ТЭС – 10–12% по массе. Предельный размер гранул (зерен) шихты не должен превышать 10–12 мм, а размер составных ее частей: исходного сырья – 5, угля – 3, твердых добавок от 5 (плотных) до 10 (пористых) мм.

В настоящее время в Республике Беларусь активно развиваются исследования, направленные на экономию технологического привозного топлива, при одновременной замене дефицитных видов на местные, например торф, сапропель, промышленные отходы, содержащие значительное количество органических веществ (лигнин, древесные опилки и др.).

При агломерации силикатного сырья замена антрацитового штыба на местные виды топлива является актуальной проблемой, однако использование топлива с малой теплотворной способностью требует разработки способов более эффективного их сжигания в агломеруемом слое шихты.

При исследовании процесса охлаждения шихты после расплава и сгорания вкраплений требуется информация, как перемещается в расплаве фронт затвердевания, как распределяются температуры в сечении твердой корки и каково время окончания затвердевания.

Процесс спекания шихты в производстве аглопорита с применением агломерационной машины делится на 4 этапа:

1. Испарение гигроскопической влаги при температурах до 100°C.
2. Подогрев слоя шихты при температуре от 100 до 800°C (в этот период происходит дегидратация глинистых минералов и гидроокислов железа).
3. Воспламенение топлива, находящегося в шихте (в этот период при температуре 800–1600°C железные окислы восстанавливаются до закисного состояния и способствуют образованию жидкой фазы, происходит спекание зерен внутри отдельных частиц и контактное спекание их между собой, в результате сыпучий слой превращается в спекшийся пористый конгломерат).
4. Охлаждение конгломерата (в этот период завершаются процессы кристаллизации магнетита и  $\alpha$  кристобалита,  $\alpha$  кварц переходит в  $\beta$  кварц, при этом кристаллическими фазами являются: кварц, полевошпат, кристобалит и муллит).

В настоящий момент для Республики Беларусь особую актуальность приобретают вопросы расширения исследований по экономии технологического топлива и замене дефицитных и дорогостоящих импортных на местные виды, такие как различные виды торфа, сапрпель, отходы торфобрикетного производства, которые имеют высокую теплоту сгорания и содержат значительное количество органических веществ. При использовании силикатного сырья или утилизации вскрышных пород в агломерации замена импортных видов топлива на местные является важной задачей, а использование топлива с низкой теплотворной способностью требует разработки новых способов по обогащению, усреднению и определению оптимальных сырьевых составов с целью более эффективного их сжигания в агломерируемом слое шихты.

В цехе теплоизоляционных материалов ОАО «Минский завод строительных материалов» были проведены промышленные испытания щебня и песка аглопоритовых с использованием фрезерного торфа ОАО «Торфобрикетный завод Усяж» и выпущена опытная партия аглопорита в количестве 230 м<sup>3</sup>.

В процессе проведения испытаний контролировались следующие технологические параметры:

- дозировка компонентов шихты;
- влажность компонентов шихты;
- гранулированный состав шихты;
- влажность шихты;
- скорость движения машины;
- высота слоя спекаемой шихты;
- разрежение в вакуум-камерах агломерационной машины.

Определялись:  
визуально характеристика коржа со стороны разгрузки машины;  
качественные показатели полученного аглопорита.

Использовались вскрышные породы (суглинки) месторождения гравийно-песчаных смесей месторождения «Фаниполь», которые по физико-химическому составу могут использоваться для производства аглопорита. В качестве добавок применялся низинный фрезерованный торф со степенью разложения 20%, влажностью 50%, зольность 10%. В состав брикетов входил фрезерованный торф (90%) и древесные опилки (10%). В смеси состав бурого угля был уменьшен на 3% и добавлены дроблёные брикеты фракционным составом 0–5 мм.

Известно, что при исследовании веществ неоднородной структуры, пористых тел, к которым относится торф, существенную роль играет коэффициент тепло-

проводности. Существует ряд методов для определения коэффициента теплопроводности, которые исследуют зависимость коэффициента от температуры, влажности, структуры торфа по отдельности. Эквивалентный коэффициент теплопроводности ( $\lambda_3$ ) складывается из компонентов молекулярной ( $\lambda$ ), конвективной ( $\lambda_k$ ) и лучистой ( $\lambda_l$ ) теплопроводности:

$$\lambda_3 = \lambda + \lambda_k + \lambda_l.$$

В капиллярно-пористом теле при малых перепадах температуры передача тепла конвекцией и излучением в порах тела мала по сравнению с передачей молекулярной теплопроводностью.

Нами предложен комплексный метод определения теплофизических характеристик различных материалов, с помощью которого был исследован торф кусковой, измельченный, фрезерный и брикетированный. Известно, что изменение коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры и влагосодержания описывается соотношением

$$\lambda = \lambda_0 + A t u e^{-bu},$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности абсолютно сухого тела при  $0^\circ\text{C}$ , ккал/м·ч· $^\circ\text{C}$ ;

$A, b$  – постоянные,

$t$  – температура,  $^\circ\text{C}$ ;

$u$  – влагосодержание торфа, %.

В расчетах использовались измерения при температурах 10 и  $15^\circ\text{C}$ , соответственно со средним влагосодержанием 58 и 69%,  $\lambda_0 = 0,06$  ккал/м·ч· $^\circ\text{C}$ . Получены аналитические зависимости коэффициента теплопроводности для рассмотренных разновидностей торфа.

Так, для торфа брикетированного получилась аналитическая зависимость коэффициента теплопроводности от температуры и влагосодержания в виде

$$\lambda = \lambda_0 + 10,59 t u e^{-1,81u}.$$

Использование таких функциональных зависимостей для теплофизических коэффициентов торфа позволяет оптимизировать процессы сушки и брикетирования торфа.

Предлагаемая комплексная малоотходная технология добычи и переработки нерудных строительных материалов может быть использована в технологии получения некоторых пористых строительных материалов на основе аглопорита и керамического кирпича в ОАО «Минский завод строительных материалов».

Также в качестве импортозамещающих материалов нами предлагается использовать местные виды топлива на основе фрезерного торфа, топливных брикетов и древесные опилки. Это позволит не только уменьшить себестоимость аглопорита и керамического кирпича, но и получить значительный экономический эффект при выпуске единицы продукции.

#### Список литературы

1. Березовский Н.И., Костюкевич Е.К. Природные ресурсы и их использование. Минск: БНТУ, 2005. 188 с.
2. Пат. 17707, Респ. Беларусь, МПК С04В 14/12. Сырьевая смесь для получения аглопорита: на изобретение / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич, А.А. Крутых, Б.В. Лесун, С.М. Грибкова, Е.С. Драгун, С.Н. Березов-



ский; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. № а 20111621; заявл. 30.11.11; опубл. 30.12.2013 // Афіцыйны бюл. // Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013.

3. Некоторые вопросы утилизации сырья при обогащении на горно-перерабатывающих предприятиях Беларуси / Березовский Н.И., Воронова Н.П., Грибкова С.М., Лесун Б.В., Драгун Е.С. // Горная механика. 2013. №3. С. 25 – 35.

УДК 004.658.6

**Ю.Н. Волщук, Gökçe Tutlu, Erkan Ay**

## **ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ TALEND SOFTWARE\***

**Аннотация.** *Рассматриваются и анализируются возможности интеграционной платформы Talend Enterprise Data Integration. Тема является актуальной в связи с возрастающими требованиями вертикальной и горизонтальной интеграции информационных систем и систем автоматизации на современном предприятии.*

**Ключевые слова:** *информационные системы, интеграция, автоматизация, программное обеспечение, модели данных, сбор, обработка и передача данных.*

В обществе происходит резкое увеличение интеллектуального оборудования, автоматизированных систем и информационных систем, в которых данные преобразуются, передаются, хранятся во множестве различных «уголков» устройств, файлов, баз данных. Мы находимся уже внутри системы систем. На смену отдельным единицам работающего оборудования приходят системы, связанные между собой интеллектуальными устройствами. А те, в свою очередь, начинают уступать место совокупности связанных, информационно взаимодействующих систем.

Очевидным фактом является необходимость учитывать в проектных решениях при создании систем автоматизации и информационных систем требование информационного взаимодействия проектируемого решения с существующими, а также со смежными, вновь проектируемыми системами [1]. Под словом «системы» мы обозначим не отдельно стоящее программное приложение, а комплекс оборудования вместе с приложениями, встроенными в технологическую или производственную цепочку, представляющими интерес как законченное интегрированное решение, увязывающее различные бизнес-процессы в единую цепочку.

---

\* При проведении данной работы существенную помощь по программированию оказал магистрант кафедры вычислительной техники и программирования Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова Белоконь А.С.

Потребность в информационном инструментарии, позволяющем выстраивать информационные связи между моделями данных приложений различных производителей, привела на ИТ-рынке к появлению различных технологий [2].

Один из широко используемых вариантов архитектуры построения схемы интеграции представляет из себя однонаправленный процесс сбора данных из разнородных источников, преобразование и их загрузку в хранилище данных, используемое системой для реализации необходимых функций автоматизации бизнес-процессов или технологических процессов.

В данной работе оцениваются границы применимости программного продукта Talend Enterprise Data Integration, а именно рассматриваются и анализируются следующие его возможности:

- возможность работы с данными, представленными в различных форматах;
- поддержка языка Java;
- отладка в режиме реального времени;
- автоматическая генерация документации в форматах XML и HTML;
- проектирование с применением механизма метаданных.

Для оценки функциональных возможностей Talend Enterprise Data Integration была поставлена следующая задача: с помощью специально разработанного Web-приложения, развернутого на общедоступном Web-сервере, проверить пакетную модель взаимодействия систем с искусственно разными моделями данных. В рамках эксперимента осуществляли забор данных (температура, влажность, давление и видимость) из общедоступной системы стороннего разработчика, обрабатывали их с помощью talend-приложения, формировали обобщенные выводы о погоде в выбранных пунктах, отправляя результаты обратно в web-приложение. Схему информационного взаимодействия можно изобразить следующей структурной схемой, представленной на рис. 1.

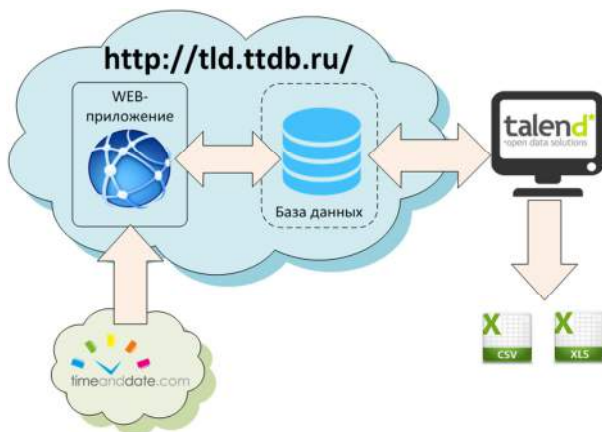


Рис. 1. Структурная схема поставленной задачи

Взаимодействие двух систем – развернутого web-приложения и talend-приложения – происходило в режиме реального времени. Используя сторонний

ресурс (сервер timeanddate.com), web-приложение предоставляет данные о погоде системе talend. Эта система загружает данные, полученные от web-приложения, сохраняет их в двух форматах (csv и xls), обрабатывает и передает обратно web-приложению, которое отображает их на главной странице сайта, рядом с информацией о погоде.

Для получения данных от web-приложения в реальном времени используется компонент tInfiniteLoop. В сочетании с компонентом tWaitForSqlData данный компонент образует бесконечный цикл, новая итерация которого произойдет тогда, когда web-приложение предоставит новые данные. Закрытие программы завершает данный цикл. Логическая схема взаимодействия представлена на рис. 2.

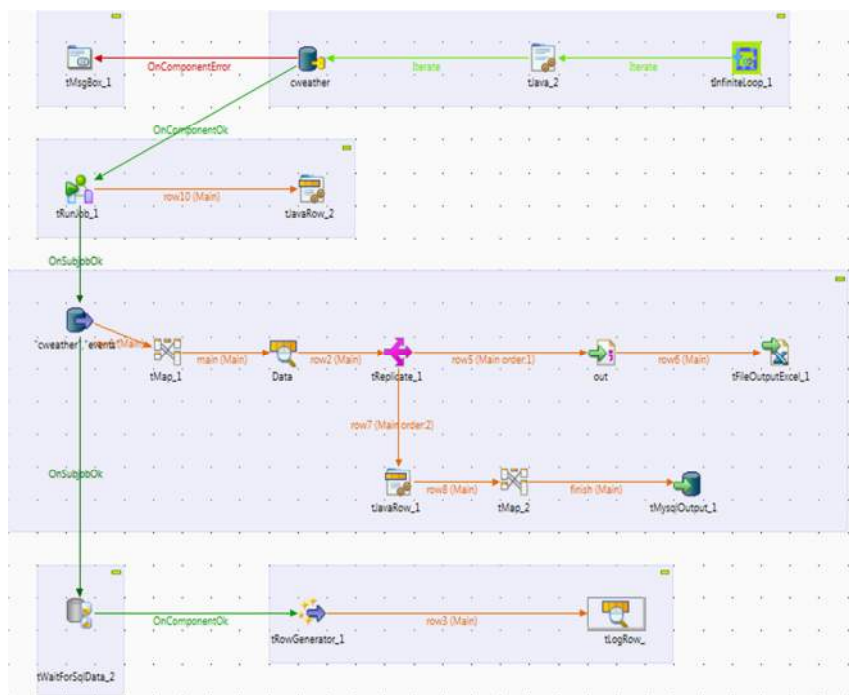


Рис. 2. Функциональная схема тестируемого приложения

Так как данные о погоде хранятся в базе данных web-приложения, то необходимо выполнить удаленное подключение к базе данных. Для этого используется компонент `tMySQLInput`. На всех стадиях преобразования данных осуществляется поддержка семантического уровня интероперабельности (заведены соответствующие проверки). Так как данные однозначно представляются в двух системах, то можно говорить об успешном выполнении данной функции. Сохранение полученной информации в форматах csv и xls (с помощью компонентов `tFileOut`

putDelimited и tFileOutputExcel соответственно) подтверждает возможность программного продукта работать с данными, представленными в разных форматах.

Следующим этапом решения поставленной задачи выполняется обработка полученных данных. Так как исследуемая интеграционная среда поддерживает язык Java, то данные обрабатываются с помощью простого условного алгоритма на данном языке, используя компонент tJavaRow. Например, вывод системы о том, что в данный момент на улице холодно – `if(row7.temperature<-30) analyzeLog+="Cold"`

После обработки данных вычисляемые данные передаются обратно на главную страницу web-приложения. Реализация происходит с помощью элемента tMySQLOutput и соответствующего запроса к базе данных.

Возможность использовать схемы данных позволяет преобразовывать их во время выполнения программы. Разработчик программного продукта сам решает, как связать входные и выходные данные, что подчеркивает гибкость исследуемой системы, которую можно использовать при решении задач интеграционного характера.

Таким образом, можно сделать следующие выводы о Talend Enterprise Data Integration:

- Функции бесплатной версии достаточны для построения схем соответствия используемых моделей данных и определения правил работы с данными в цепочке «извлечь – преобразовать – загрузить».
- Существующие возможности Talend Software позволяют обеспечить масштабирование функций интеграции от простых операций построения соответствий полей до построения ESB-шины предприятия.
- Область применения Talend Software ограничивается областью бизнес-приложений. В системах поддержки управления технологическими процессами интеграция требует выбора on-line взаимодействия приложений.

#### Список литературы

1. Емельянова Н.З., Партыка Т.Л., Попов И.И. Проектирование информационных систем: учеб. пособие. М.:ФОРУМ, 2012. 432 с.: ил.
2. Коголовский М.Р. Энциклопедия технологий баз данных. М.: Финансы и статистика, 2002. 800 с.

УДК 661.0167

**И.А. Долматова, Т.Н. Зайцева, В.Ф. Рябова**

### **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В ОРГАНИЗАЦИИ ШКОЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

**Аннотация.** Рассмотрены данные по охвату учащихся общеобразовательных учреждений горячим питанием и структура питания обучающихся в г. Магнитогорске. Приведены основные задачи по реорганизации системы школьного питания, позволяющие активно управлять качеством.

**Ключевые слова:** *школьное питание, реорганизация, управление качеством.*

Питание является одним из важнейших факторов, определяющим здоровье детей и подростков, способствует профилактике заболеваний, повышению работоспособности и успеваемости, физическому и умственному развитию, создает условия для адаптации подрастающего поколения к окружающей среде. Проблема организации качественного и доступного горячего питания в общеобразовательных учреждениях является сегодня одной из наиболее значимых проблем для российского общества [3, 6].

Важнейшим условием нормального функционирования человеческого организма является полноценное, сбалансированное питание, особенно в период роста и развития. На период от 7 до 18 лет, когда ребенок большую часть времени проводит в школе, приходится наиболее интенсивный соматический рост организма, сопровождающийся повышенными умственными и физическими нагрузками.

Поэтому обеспечение подрастающего поколения полноценным сбалансированным школьным питанием, отвечающим физиологическим потребностям, возрастным особенностям и современным требованиям качества и безопасности пищевых продуктов, тесно взаимосвязано с демографическими процессами в нашей стране, здоровьем нации, а следовательно, и с социально-экономическим развитием России [4, 7].

В соответствии с законом «Об образовании» для детей школьного возраста один из приемов пищи в день должен быть организован в школе. При переходе к рынку система поддержки социальной сферы, в том числе и школьного питания, перестала действовать из-за недостатка средств. В связи с этим стоит вопрос о реформировании и развитии предоставления муниципальных услуг по организации школьного питания с учетом условий рынка [1, 5].

Полноценное, сбалансированное, безопасное питание является важнейшим условием нормального функционирования человеческого организма, особенно в период его роста и развития. В соответствии со ст. 37 Федерального закона от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» организация питания обучающихся возлагается на организации, осуществляющие образовательную деятельность, при этом его формы организации выбирают сами.

Требования к организации питания определены санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.4.5.2409-08 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации питания обучающихся в общеобразовательных учреждениях, учреждениях начального и среднего профессионального образования, утвержденными постановлением Главного санитарного врача РФ от 23 июля 2008 г. № 45.

Министерством образования и науки Российской Федерации ежегодно проводится Всероссийский мониторинг организации питания в общеобразовательных учреждениях [2].

Сравнительные данные по охвату учащихся общеобразовательных учреждений горячим питанием представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные данные по охвату учащихся общеобразовательных учреждений горячим питанием

Школьники	Количество учащихся в образовательных учреждениях			Охват горячим питанием			
				Всего			
	2011 год	2012 год	2013 год	2011 год	2012 год	2013 год	+/-, %
Всего	37270	40366	41211	31306 (84%)	33907 (84%)	34870 (84,6%)	+0,6
1-4 классы	16384	17382	18167	15980 (97,5%)	15991 (92%)	17940 (98,7%)	+1,2
5-11 классы	20886	22984	23044	15326 (73%)	17916 (78%)	16930 (73,5%)	+0,5

Таким образом, охват горячим питанием обучающихся в образовательных учреждениях г. Магнитогорска на протяжении 3-х лет остается стабильным и составляет 84,6%. В 2013 г. несколько вырос процент питающихся в 1-4 классах на 6,7% и снизился на 4,5% в 5–11 классах по сравнению с 2012 г.

Структура питания учащихся представлена в табл. 2.

Таблица 2

Структура питания в общеобразовательных учреждениях г. Магнитогорска, %

Питание	1–4 классы	5–9 классы	10–11 классы
Горячее	30	22,2	14
Буфетное	5	10	15

Приведенные нами в табл. 2 данные показывают, что удельный вес учащихся, получающих питание в общеобразовательных учреждениях, составляет 66%, горячим питанием охвачено 62,2%, буфетным – 30% от общего количества питающихся. Повсеместно отмечена тенденция к замене горячего питания буфетной продукцией, которая имеет несбалансированный состав и низкую калорийность [2].

В настоящее время в России намечена тенденция по реорганизации системы школьного питания. Основной целью реорганизации системы школьного питания в Российской Федерации является управление качеством питания, создание условий для стопроцентного охвата обучающихся, воспитанников общеобразовательных учреждений качественным и доступным горячим питанием. Для достижения поставленной цели обществу необходимо решить следующие задачи:

- модернизация материально-технической базы школьного питания;
- создание современной системы управления организацией школьного питания;
- развитие кадрового потенциала системы школьного питания;
- проработка финансово-экономического обоснования системы школьного питания;
- формирование комплексной нормативно-правовой базы, регулирующей все аспекты системы школьного питания;
- обеспечение организационно-просветительской работы по формированию культуры здорового питания среди участников образовательного процесса: педагогов, обучающихся и их родителей [8-11, 5].

## Список литературы

1. Барышникова Н.И., Закирова Д.Р. Разработка рекомендаций по школьному питанию // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Т. 1. С.223-225.
2. Доклад «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения г. Магнитогорска Челябинской области в 2013 году» / под общ. ред. В.Н. Эленбогина / Территориальный отдел Управления Роспотребнадзора по Челябинской области в г. Магнитогорске и Агаповском, Кизильском, Нагайбакском, Верхнеуральском районах. Магнитогорск, 2014.
3. Долматова И.А., Агеева Е.А. Современное состояние и направления развития общественного питания г. Магнитогорска // Современное состояние и перспективы развития индустрии питания и гостеприимства: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Омск: АНО ВПО «Омский экономический ин-т», 2012. Т.1. С. 7-12.
4. Долматова И.А., Рябова В.Ф., Персецкая К.М. Особенности химического состава и пищевой ценности хлебобулочных изделий функционального назначения // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: материалы Инновационного конвента. Кемерово; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. С.164-166.
5. Закирова Д.Р., Барышникова Н.И. Анализ оснащения технологическим оборудованием столовых общеобразовательных школ согласно СанПин 2.4.52409-08 // Актуальные проблемы развития общественного питания и пищевой промышленности: материалы международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов. Белгород, 2014. С.46-50.
6. Закирова Д.Р., Барышникова Н.И. Организация здорового питания в школах // Эколого-биологические и медицинские проблемы регионов России и сопредельных территорий: материалы Всероссийской научной конференции (г. Сибай, 9-10 октября 2014 г.). Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. С.260-265.
7. Закирова Д.Р., Барышникова Н.И. Проблемы школьного питания // Современное состояние и перспективы развития индустрии питания и гостеприимства: Материалы VI международной научно-практической конференции. Челябинск: ЮУрГУ, 2013. Т. 1. С. 63-6-54.
8. Закирова Д.Р., Барышникова Н.И. Школьное питание: проблемы и пути решения // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых: сборник статей 3-й Международной молодежной конференции. Курск, 2014. С. 100-103.
9. Долматова И.А., Зайцева Т.Н., Иванова Г.Д. Разработка технологии производства макаронных изделий, обогащенных растительными компонентами // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й международной научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Т.1. С. 229-233.

10. Малова Е.Н., Рябова В.Ф. Исследование потребительского рынка творога г. Магнитогорска // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т.1. С. 263-266.
11. Зайцева Т.Н., Малова Е.Н. Разработка технологии изготовления цукатов из ягод паслена садового санберри // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й международной научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Т.1. С. 233-236.

УДК 669.213

**Н.Л. Калугина, В.С. Захарова**

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АВТОКЛАВНОГО ОКИСЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

***Аннотация.** Рассмотрена возможность применения метода автоклавного окисления для извлечения благородных металлов из промышленных техногенных месторождений Урала. Представлены различные способы проведения автоклавного окисления для извлечения благородных металлов. Выявлены преимущества и недостатки данного метода.*

***Ключевые слова:** автоклавное окисление, благородные металлы, техногенные месторождения, халькопиритные концентраты, окисленный кек.*

Достаточно высокое содержание благородных металлов находится в техногенных отходах, возникающих при добыче, обогащении и переработки руд многих цветных и редких металлов. Промышленные техногенные месторождения Урала ежегодно пополняются пятью миллиардами тонн различных отходов, из них двести двадцать миллионов тонн хвостов обогащения и свыше ста десяти миллионов тонн медных шлаков, которые содержат более семи тонн золота и ста пятидесяти тонн серебра.

Переработка техногенных месторождений драгоценных металлов – золота, серебра, даже в масштабе Урала имеет большие перспективы. Традиционный метод извлечения золота из упорных руд осуществляется с помощью флотационного обогащения с последующим обжигом и цианированием огарка. В настоящее время данный метод применяется редко, это связано с тем, что происходит низкая степень извлечения золота и высокая степень загрязнения окружающей среды выбросами мышьяка и серы.

С этой точки зрения большие возможности представляет метод автоклавного окисления, который в настоящее время получает всё большее распространение для извлечения благородных металлов из упорных руд. Существует 3 варианта применения данного метода: высокотемпературное автоклавное окисление при  $t=180-240^{\circ}\text{C}$ ; среднетемпературное автоклавное окисление при  $t=120-175^{\circ}\text{C}$ ; низкотемпературное автоклавное окисление при  $t\leq 115^{\circ}\text{C}$ .



Технологию высокотемпературного автоклавного окисления впервые ввела фирма «Phelps Dodge» (США) на установке Багдад (штат Аризона) для переработки халькопиритных концентратов. Процесс проводят при 225–235°С, под давлением кислорода 3,3–4,0 МПа в течение 15–30 мин. Окисленный кек подвергают цианированию, извлекая до 95% Au; после горячей известковой обработки кека извлекают до 70–80% Ag.

Среднетемпературное автоклавное окисление доизмельченных халькопиритных концентратов проводит фирма «Dunpates» (Канада) при температуре 145–150°С, давлении кислорода 1,0–1,7 МПа и с добавкой измельченного угля для пассивации элементарной серы, что обеспечивает высокое извлечение меди (>98%) и окисление сульфидной серы, в основном (на 70%), до элементарной. Извлечение составляет 88–91% Au, 91–96% Ag. В данном процессе концентрат подвергается тонкому измельчению (до 80% класса минус 5–20 мкм) и выщелачивается при умеренном давлении и температуре около 150°С в кислотно-сульфатной системе. Добавка surfactant (лигнин-сульфонат и/или Quebracho) позволяет диспергировать расплавленную элементарную серу, предотвращая пассивацию сульфидов в процессе выщелачивания.

Интересным и перспективным из разработок последних лет является метод Activox компании «Доминион Майнинг» (Dominion Mining Ltd) в Западной Австралии. Процесс низкотемпературного автоклавного окисления «Активокс» разработан для пентландитовых, халькопиритовых, пиритных, арсенопиритных концентратов и другого упорного сырья. Сульфидные концентраты измельчаются в специальных мельницах до 10–15 мкм, в результате чего происходит увеличение площади реакционной поверхности и разрушение кристаллической решетки минералов. Это позволяет использовать менее жесткие режимы выщелачивания и тем самым существенно уменьшить эксплуатационные затраты. Медные концентраты измельчают до крупности 100% –15 мкм и окисляют в автоклаве при температуре менее 100–120°С и парциальном давлении кислорода порядка 1,0 МПа. При этом в раствор извлекается до 90–99% меди и не более 2–3% 23 железа. При последующем цианировании кека в раствор извлекается до 90% золота. Расход кислорода составляет 0,99 кг на 1 кг растворенной меди, а при обработке концентрата в три стадии (измельчение – выщелачивание) – 0,35 кг на 1 т выщелоченной меди, в то время как при высокотемпературном окислении расход кислорода составляет 2,41 кг на 1 кг меди.

При выборе технологии извлечения благородных металлов из кеков автоклавного окисления следует учитывать, что кеки автоклавного окисления являются кислым материалом и могут содержать медь, серу, мышьяк и другие цианиды. В связи с этим может оказаться неприемлемым применение цианистого выщелачивания из-за высокого расхода реагентов. Данную проблему способно решить использование альтернативных нецианистых растворителей благородных металлов. Наиболее перспективными растворителями драгоценных металлов, в данном случае, являются реагенты на основе серы.

По сравнению с обжигом метод автоклавного окисления для вскрытия благородных металлов из упорных руд имеет следующие преимущества: более высокое извлечение золота; отсутствие газовых выбросов соединений мышьяка и серы; малая чувствительность к присутствию в сырье таких примесей, как сурьма и

свинец (снижающих извлечение золота в случае применения обжига); возможность переработки как флотационных концентратов, так и непосредственно руд.

Однако технология автоклавного окисления является достаточно дорогостоящей и не всегда рентабельной, поскольку процесс проводится при высокой температуре и высоком давлении, а также необходимо использование в процессе окисления большого количества кислорода, что влечет за собой наличие собственной кислородной станции. Возможно интенсифицировать процесс, применив сверхтонкое измельчение руды для механической активации минеральных веществ. Это позволяет сократить время окисления, а также расход кислорода на окисление в автоклаве. Повышение эффективности достигается за счет увеличения площади поверхности и частичного вскрытия минералов на стадии сверхтонкого измельчения руды.

Таким образом, для переработки техногенного сырья, бедного благородными минералами и упорного, наиболее эффективным является высокотемпературное автоклавное окисление, однако, учитывая высокую затратность этого метода, перспективным представляется применение в промышленном масштабе технологии низкотемпературного автоклавного окисления.

#### Список литературы

1. Corrans I.J., Angove J.E., Johnson G.D., 1995. The treatment of refractory copper-gold ores using Activox® processing. In: Randol Gold Conference, Perth. Randol International, Golden, Colorado.
2. Kofluk D.K., Collins M.J., 1998. U.S. Pat. 5.730.776, March 24. 1998.
3. Marsden J., Brewer R.E., Hazen N. // «Hydrometallurgy 2003», 5 Intern. Count. TMS. 2003. V. 2. P. 1429-1446.
4. Применение методов кучного выщелачивания для извлечения окисленного золота из техногенного сырья / Амангусова Л.А., Захарова В.С., Калугина Н.Л., Калугин Ю.А. Уфа, 2014.
5. Физико-химические закономерности извлечения тяжелых металлов из техногенных гидроминеральных месторождений / Варламова И.А., Гиревая Х.Я., Калугина Н.Л., Куликова Т.М., Медяник Н.Л. Магнитогорск, 2010. 246 с.
6. Разработка и внедрение инновационной технологии комплексного извлечения благородных и цветных металлов из бедных и упорных золото-медьсодержащих руд месторождений Южного Урала. Иркутск, 2014.
7. Цементационное извлечение меди из растворов и различных материалов / Калугина Н.Л., Варламова И.А., Калугин Д.А., Варламова Н.А. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 1. С. 323-326.
8. Медяник Н.Л., Гиревая Х.Я. Извлечение ионов меди из сточных вод с помощью осадителей-восстановителей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 1. С. 113-114.
9. Медяник Н.Л., Калугина Н.Л., Варламова И.А. Изучение возможности селективного извлечения меди методом известкования из сточных вод горных предприятий гидрометаллургического комплекса // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 2 (42). С. 188-193.

Е.В. Леонтьева, Н.Л. Медяник

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ГУАНИДИНА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА

**Аннотация.** *Исчерпание природных источников золота делает актуальным вовлечение в переработку различных видов техногенных золотосодержащих отходов. Наибольшая эффективность обогащения при этом достигается применением комплексных технологий с включением химических методов выделения ценных компонентов сырья. Перспективными сорбционно-активными реагентами для извлечения золота являются производные гуанидина.*

**Ключевые слова:** *золото, производные гуанидина, сорбция, экстракция.*

Повышенный интерес общества к драгоценным металлам исторически и до настоящего времени обусловлен их уникальными физико-химическими свойствами. Продолжая оказывать влияние на мировые финансовые системы, золото с середины прошлого века все шире используется в различных отраслях науки и производства для создания новых, в том числе наноразмерных, материалов и покрытий. Возросшее потребление золота, наряду с сокращением разведанных рудных запасов, ростом доли бедных, труднообогащаемых руд, ведет к удорожанию добычи и производства золота из первичных источников. В связи с этим в повторную переработку все активнее вовлекаются разнообразные виды содержащих золото техногенных отходов.

Наряду с решением экологических вопросов переработка отходов обогащения привлекательна и с экономической стороны. Складированные в отвалы твердые техногенные отходы горного производства содержат значительные количества недоизвлеченных ценных компонентов и могут рассматриваться в качестве дополнительного источника минерального сырья [1].

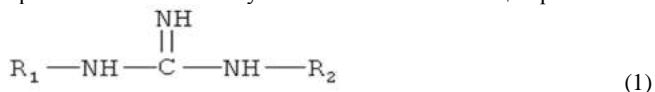
Ввиду специфически измененных технологических свойств отходов традиционные (гравитационные, флотационные) методы извлечения золота часто не эффективны, либо не применимы. Более продуктивными являются комплексные схемы обогащения, включающие химические способы предварительной подготовки сырья, выщелачивания и концентрирования золота. В их основе лежат процессы взаимодействия (сорбции, комплексообразования) золота с веществами, содержащими электронодонорные атомы серы, фосфора, азота.

Ассортимент эффективных неорганических комплексообразователей для золота ограничен. Более широкие возможности для получения прочных сорбционных комплексов с золотом имеются у веществ органической природы.

Среди эффективных азотсодержащих органических лигандов золота – соединения, содержащие аминные, иминные, нитрильные группировки, четвертичные аммониевые соли, гетероциклы (пиразол, имидазол, пиридин, пиперидин, хинолин, морфолин и другие).

Соединения гуанидина, благодаря наличию в своей структуре активного «узла» с несколькими атомами азота различной основности, представляют интерес как сорбционно-активные в отношении ряда металлов реагенты, которые способны быть донорами протонов и их акцепторами, а также в зависимости от условий

реакции вступать в межмолекулярные взаимодействия как по электронодонорному, так и электроноакцепторному механизму. Замещение атомов водорода аминогрупп в молекуле гуанидина на алкильные, арильные, гетерильные группировки ( $R_1, R_2$ ) расширяет возможности получения новых извлекающих реагентов:



За счет протонирования гуанидные производные переходят в водорастворимую форму, проявляют свойства оснований:



Образующиеся катионы гуанидиния в растворах ассоциируются с комплексными, преимущественно однозарядными анионами благородных и цветных металлов, например:  $Au(CN)_2^-$ ,  $Ag(CN)_2^-$ ,  $Cu(CN)_2^-$ ,  $AuCl_2^-$ ,  $AuCl_4^-$ ,  $AuBr_2^-$ ,  $AuI_4^-$  и др. Выделение ассоциатов возможно методами осаждения, экстракции, сорбции.

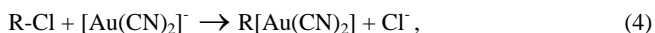
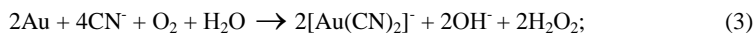
Применение производных гуанидина в народном хозяйстве разнообразно: в качестве лекарственных, антисептических средств, флокулянтов для очистки воды. В отношении благородных металлов, в частности золота, гуанидные производные используются:

- в аналитической химии при нейтроноактивационном анализе золота в горных породах и природных объектах с низким содержанием драгметалла [2]. Золото извлекается в виде гидрофобного тетрахлораурата трифенилгуанидиния, который количественно экстрагируют дихлорэтаном из кислотных и нейтральных сред в присутствии значительного избытка катионов других металлов (железа (III), меди, цинка, металлов платиновой группы), не мешающих определению;

- в гидрометаллургии в составе сорбентов золота из цианистых растворов выщелачивания.

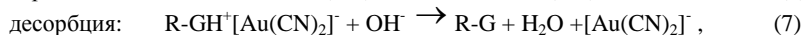
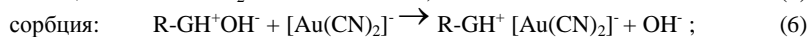
Следует отметить, что технологии сорбционного цианирования содержащего золото сырья с применением ионообменных смол весьма эффективны. Достоинством метода является совмещение процессов выщелачивания драгметаллов и концентрирования их комплексов на загруженном сорбенте с последующим его отделением от пульпы. Благодаря разработкам И.Н. Плаксина, М.С. Гирдасова, А.Ю. Бейлина, Б.Н. Ласкорина метод сорбции на иониты успешно применяется на ряде отечественных предприятий, таких как Лебединская, Куранахская, Ангренская, Коммунарская золотоизвлекательные фабрики [3].

В результате окислительной обработки металлсодержащего сырья щелочными цианистыми растворами в пульпе присутствуют комплексные анионы цианидов золота, серебра и других металлов (меди, цинка, кобальта, железа), которые могут удерживаться полимерной смолой. Механизм окислительного цианирования золота в присутствии анионита можно иллюстрировать схемой:



где R – инертная полимерная матрица смолы, насыщенная обмениваемыми ионами (чаще всего хлоридами).

Специально разработанная для сорбции золота слабоосновная ионнообменная смола марки Аурикс-100 (производство Германии) в качестве активных центров содержит гуанидные фрагменты. После предварительного насыщения (ионизации) смолы водой ионы дицианоаурата методом ионного обмена сорбируются из пульпы; десорбирование золота с ионита осуществляют щелочными растворами [4]:



где G – производное гуанидина; R – сополимер стирола и дивинилбензола.

Наряду с такими достоинствами ионнообменных сорбентов, как универсальность, селективность, высокая насыщаемость, меньший объем смолы в сравнении с активированным углем, химическая и механическая устойчивость при циклическом использовании, метод сорбирования на смолы имеет и существенные недостатки - многостадийность процесса регенерации и высокую стоимость самих ионитов, что ограничивает их промышленное применение.

Поскольку основным реализованным в промышленном масштабе способом выщелачивания золотосодержащего сырья является цианирование, поиск новых эффективных экстрагентов золота в основном ведется среди веществ, реакционно-активных в щелочной среде, в которой устойчивы цианиды. Этому условию удовлетворяют производные гуанидина: показана возможность их применения как экстрагентов для извлечения золота из пульпы цианирования [5, 6].

Гуанидные производные активны в отношении золота и в кислых, нейтральных средах за счет образования протонированных форм, связывающих комплексные аурат-анионы в устойчивые ассоциаты. Это позволяет применять рассматриваемые реагенты в других гидрометаллургических схемах, например, в гидрохлорировании.

В патентной литературе [7] зафиксировано наличие каталитических свойств гуанидов: добавление их незначительных количеств к известным окислительным системам активирует выщелачивания золота из руд и концентратов.

Обобщая сказанное, следует отметить эффективность и перспективность производных гуанидина благодаря возможности их использования в различных технологических схемах переработки золотосодержащего сырья.

#### Список литературы

1. Леонтьева Е.В., Медяник Н.Л. Изучение компонентного состава твердого техногенного сырья ОАО «Учалинский ГОК» // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й международной науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Т.1. С. 239-243.
2. Бусев А.И., Иванов В.М. Аналитическая химия золота. М.: Наука, 1973. 264 с.
3. Стрижко Л.С. Металлургия золота и серебра: учеб. пособие для вузов. М.: МИСиС, 2001. 336 с.

4. Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды. М.: Руда и металлы, 2013. С. 332-333.
5. Пат. SU 1831508 АЗ. Способ извлечения благородных металлов из щелочных цианидных растворов / Лин В.Л. (US), Метиссон Ф.Л. (US), Вернинг М.Дж. (US). Опубл. 30.07.1993.
6. Пат. 2412261 РФ. Способ извлечения золота из щелочных цианидных растворов / Голоунин А.В. Опубл. 20.02.2011.
7. Пат. 2114926 РФ. Выщелачивание золота с помощью азот- и серосодержащих гетероциклических ароматических соединений / Соул К.С. (US), Скотт Т.Д. (US). Опубл. 10.07.1998.

УДК 628. 16

**Е.В. Нефедова, Н.В. Демидова**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД г. НОВОТРОИЦКА НА СОДЕРЖАНИЕ ХРОМА (VI) И ХРОМА (III)**

***Аннотация.** Приведены данные лабораторных исследований проб воды из поверхностных источников г. Новотроицка – реки Урал, озера Теплое и гидротехнических сооружений ОАО «Уральская Сталь» на содержание хрома (VI) и хрома (III). Сбор проб и анализ воды проводился фотометрическим методом градуировочного графика и йодометрическим титрованием в соответствии с ГОСТ. Результаты приведены в сравнении с ПДК для водоемов города.*

***Ключевые слова:** Новотроицкий завод хромовых соединений (НЗХС), загрязнение окружающей среды, соединения хрома, шламонакопители, фотометрический анализ, оптическая плотность.*

Самое привычное и самое невероятное вещество на Земле – вода. Природная вода – это ценный ресурс, который находится на грани исчезновения. Промышленные загрязнения чрезвычайно опасны, способны провоцировать заболевания различных систем органов, в том числе мутации, и выступать в качестве канцерогенного вещества. Так, например, в Новотроицке находится предприятие химической промышленности – Новотроицкий завод хромовых соединений (НЗХС) по производству соединений хрома (VI) и химически чистого хрома. В городе существует повышенная вероятность промышленного загрязнения природных вод соединениями хрома (VI). Данная работа призвана привлечь внимание общественности к этой проблеме.

В результате анализа литературы было выявлено, что хром встречается в биологически подвижной (органические соединения) и минеральной формах. Токсичность соединения хрома находится в прямой зависимости от его валентности: наиболее ядовиты соединения хрома (VI), высокотоксичны соединения хрома (III), металлический хром и его соединения (II) менее токсичны. Минеральный хром (III) может переводиться в биологически подвижную форму растениями и бактериями. Такая форма металла необходима всем живым организмам в малых количествах.

Суточная потребность человека – это 50–200 мкг хрома. Однако организм плохо его усваивает из неорганических соединений. Если человек испытывает дефицит хрома, он быстро переутомляется, страдает от нарушения сна и головных болей, часто испытывает беспричинное беспокойство. Избыток хрома сулит множество заболеваний, и в первую очередь отравление. Большие дозы данного металла токсичны для человека: при суточных дозах более 200 мкг может произойти отравление, а если доза превысит 3 г, то возможен и летальный исход.

Главные антропогенные источники выбросов этого металла – заводы по производству стали и ферросплавов (80% от общего выброса), а также предприятия химической промышленности.

Новотроицкий химзавод – это крупнейший на территории России экологически опасный объект. Ежегодно предприятие увеличивает объемы хранения опасных отходов на 240 тыс. тонн без соответствующих на то разрешений. Согласно данным лабораторных исследований на 2014 год содержание взвешенных веществ в исходящих газах соответствует норме, но в 2011 году было зарегистрировано содержание взвешенных веществ в размере 2,97 г/с при установленном нормативе 0,769 г/с, что превышает уровень допустимого воздействия (УДВ) почти в 40 раз.

Технологическое состояние НЗХС сегодня таково, что воздействие его на окружающую среду многократно превышает установленные природоохранные нормативы. Эти отходы много лет в огромном количестве сбрасываются НЗХС в открытый пруд-шламонакопитель (на каждую тонну продукции монокромата натрия – 2,5 т шлама, с внедрением бездоломитовой технологии производства – 1,1 т). Вредные вещества могут проникать в грунтовые воды, загрязнять реку Урал, представлять угрозу для здоровья жителей.

С целью изучения состояния природных вод было отобрано 3 пробы из поверхностных водоемов:

- 1) река Урал (в черте города);
- 2) озеро Тёплое (в черте города, восточная часть);
- 3) озеро ГТС (ОАО «Уральская Сталь»).

Отбор проб производится по ГОСТ (31861, 31862, 17.1.5.05), следует помнить, что пробы пригодны для анализа в течение 6 ч, при невозможности его проведения пробы консервируют концентрированной азотной кислотой из расчета 1 см<sup>3</sup> на 300 см<sup>3</sup> пробы, доводя до pH менее 2. При консервировании срок хранения проб увеличивается до 1 месяца. В исследовании использовалась неконсервированная вода.

Также использовалась контрольная проба – водопроводная вода, как с заведомо известным содержанием хрома (по нормативу СанПиН).

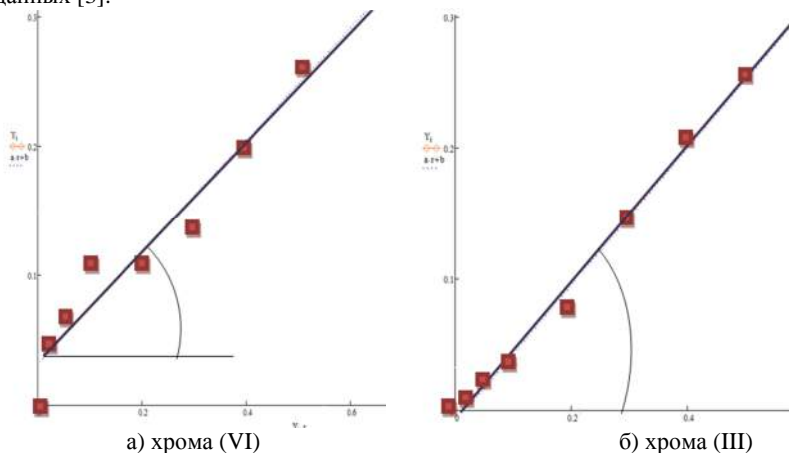
Анализ проб воды проводился по ГОСТ 31956-2012. Метод определения хрома (VI) основан на измерении светопоглощения в диапазоне длин волн от 540 до 550 нм окрашенного комплексного соединения, образующегося в результате реакции 1,5-дифенилкарбазида с бихромат-ионами пробы анализируемой воды в кислой среде. Определение хрома (VI) проводят по значению оптической плотности раствора (отношение интенсивности светового луча, прошедшего через анализируемый раствор, к интенсивности начального светового луча).

Для определения общего хрома соединения хрома предварительно переводят в хром (VI) путём окисления надсернистым аммонием, после чего определяют содержание хрома (VI) в обработанной пробе с 1,5-дифенилкарбазидом.

Содержание хрома (III) определяют как разность между содержанием общего хрома и хрома (VI).

Реализация метода проводится с помощью градуировочных графиков. Замеряют оптическую плотность серии стандартных растворов и по полученным данным строят градуировочные графики, осью абсцисс является концентрация растворов хрома, а осью ординат – значение оптической плотности (D) при заданных концентрациях. Полученные точки не ложатся на прямую, поэтому их усредняют и вычисляют коэффициент наклона касательной прямой (b). Для полученных графиков:  $b_1 = 0,524$ ;  $b_2 = 1,732$  (см. рисунок).

Полученные данные показывают, что и в Урале, и в озере Теплое превышено содержание шестивалентного хрома, но официальная статистика не дает таких данных [3].



Градуировочные графики для определения: а – хрома (VI); б – хрома (III)

Обработка полученных данных дала следующие результаты (см. таблицу).

#### Результаты лабораторных исследований

Параметр, мг/дм <sup>3</sup>	Урал	Оз.Теплое	ГТС	Водопроводная вода	ПДК
Хром (VI)	0.176	0.192	0.212	0.016	0.05
Хром (III)	0.004	0.02	0.104	0.074	0.45
Общий хром	0.18	0.212	0.316	0.09	0.5

Мы не претендуем на окончательность полученных выводов. Необходимо провести серию анализов в течение года, чтобы владеть реальной картиной загрязнения водоемов города, но полученные результаты заставляют задуматься о возможных путях решения экологической проблемы города. Во-первых, опасные



производства должны усовершенствовать свою технологию, уменьшив выбросы. Во-вторых, в городе должны реализовываться профилактические программы оздоровления населения. В-третьих, возродить общественный контроль за состоянием окружающей среды.

#### Список литературы

1. Бессонова В.П., Иванченко О.Е. Хром в окружающей среде // Вопросы биоиндикации и экологии в окружающей среде. Запорожье: ЗНУ, 2011. Вып. 16. № 1. С. 13-29.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Оренбургской области в 2013 году». Оренбург, 2013. С. 15-16, 35.
3. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды Оренбургской области за 2013 год (Оренбургский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Приволжское УГМС»). Оренбург, 2013. С. 4-5.
4. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия (Аналитика). В 2 кн. Кн. 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа: учебник для вузов. 2-е изд., испр. М.:Высш. шк., 2003. [Глава 1, С. 5-19; Глава 4. С. 175-178; Глава 8. С. 305-342].

УДК 629.3.027.3

Ал.В. Смирнов, И.Г. Гун

#### **ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРЕССОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ШАРОВЫХ ШАРНИРАХ СТОЕК СТАБИЛИЗАТОРА**

**Аннотация.** Рассмотрены требования, предъявляемые к стойкам стабилизатора и на их основе предложена новая конструкция шарнира и принципиальная схема формирования неразъемного соединения ультразвуковым прессованием в такой конструкции.

**Ключевые слова:** шаровой шарнир, стойка стабилизатора, ультразвуковая сварка, ультразвуковое прессование.

В связи с происходящими в России процессами импортозамещения и технологического перевооружения предприятие ЗАО НПО «БелМаг» [1-6] начинает производство стоек стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля новой конструкции со сферическими, а не резинометаллическими шарнирами.

К такому шарниру, в отличие от прочих шаровых шарниров шасси, предъявляются специфические требования, например, для автомобиля LADA Vesta усилие вырыва шарового пальца из корпуса для стойки стабилизатора на порядок меньше, чем для шаровой опоры (1 кН для стойки против 30 кН для шаровой). Невысокое значение усилия вырыва позволяет перейти к новой конструкции шарнира, приведённой на рис. 1.

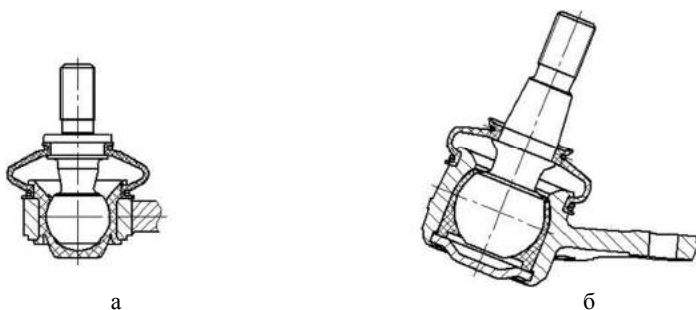


Рис. 1. Конструкции шаровых шарниров:  
а – стойки стабилизатора; б – шаровой опоры

Такая конструкция позволяет создать неразъёмное соединение не завальцовкой металлического корпуса, как на шаровой опоре, а прессованием вкладыша, выполненного из термопластичного материала. Однако, как показали опыты, при попытках провести опрессовку вкладыш ломается. В связи с этим для формирования описанного соединения предлагается новый технологический процесс – ультразвуковое прессование.

Использование ультразвуковых колебаний для формирования неразъёмных соединений применяется в нашей стране с 1958 года, когда группой учёных под руководством академика Г.А. Николаева в МВТУ им. Баумана был предложен способ ультразвуковой сварки пластмасс, заключающийся в нагреве ультразвуковыми колебаниями зоны контакта соединяемых деталей до температуры вязкотекучего состояния и образовании под воздействием статического давления прочного сварного соединения [7].

В предлагаемом для формирования соединения способе планируется использовать ультразвуковые колебания для разогрева материала вкладыша для придания материалу пластичности и его возможности эффективного формоизменения.

Реализацию процесса ультразвукового прессования предлагается проводить по схеме, приведённой на рис. 2.

Источник колебаний 1 генерирует высокочастотные электрические колебания, которые в конвертере 2 преобразуются в механические ультразвуковые колебания. Бустер 3 (механический трансформатор) преобразует колебания и передаёт их на соноотрод. Выбором бустера определяется амплитуда колебаний. Соноотрод 4 пе-

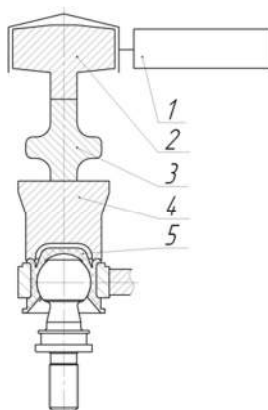


Рис. 2. Принципиальная схема процесса ультразвукового прессования:  
1 – источник колебаний; 2 – конвертер;  
3 – бустер; 4 – соноотрод;  
5 – опрессовываемая деталь

редаёт продольные (вдоль вертикальной оси) механические колебания в зону прессования, вызывая нагрев материала детали 5 и осуществляя его прессование.

Предлагаемый технологический цикл ультразвукового прессования состоит из следующих операций: подача сонотрода без генерации ультразвуковых колебаний до достижения определённого усилия; генерация ультразвуковых колебаний источником по команде управляющего компьютера; дальнейшая подача сонотрода одновременно с ультразвуковым воздействием до достижения необходимого критерия; прекращение генерации ультразвуковых колебаний, обратный ход сонотрода, остывание деформированного материала.

Такой технологический цикл ультразвукового прессования позволил технически реализовать конструкцию, обладающую по сравнению с традиционной (с фиксирующим буртом, формируемым пластической деформацией металла корпуса) следующими преимуществами: сниженный вес и уменьшенное количество комплектующих; меньшая стоимость комплектующих; меньшие затраты энергии на процесс сборки.

Присущая такой конструкции особенность (сравнительно низкое усилие вырыва) для изделий типа стойка стабилизатора не является существенным недостатком в силу предъявляемых к изделию требований.

Таким образом, впервые в российской автомобильной промышленности предложен и внедряется новый способ производства шарниров стоек стабилизатора – путём ультразвукового прессования.

#### Список литературы

1. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей / Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Куцендик В.И., Сальников В.В., Гун Е.И., Смирнов А.В., Смирнов А.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1 (45). С.52-57.
2. Патент на изобретение RU 2263889. Стенд для испытаний шаровых шарниров / Михайловский И.А., Гун И.Г., Ясаков Ю.М., Лапчинский В.В. 29.12.2003.
3. Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев: монография / Гун И.Г. [и др.]. Магнитогорск, 2008.
4. Комплексная оценка результативности сквозных технологий производства с использованием логики антонимов на примере шаровых пальцев / Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Сальников В.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. Т.1. №9. С.67-71.
5. Гун. И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С. Квалиметрическая оценка и повышение результативности сквозной технологии и системы менеджмента качества производства шаровых пальцев: монография. Магнитогорск, 2008.
6. Gun G.S., Rubin G.Sh., Chukin M.V.E., Gun I.G., Mezin I.Yu., Korshunov A.G. Metallurgy qualimetry tueory design and development // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №5 (45). С.67-69.
7. Николаев Г.А. Сварка в машиностроении. Справочник. Т.1. М.: Машиностроение, 1978. 504 с.

С.Н. Жевненко, П.В. Проценко, А.Н. Смирнов, В.А. Тимошенко

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА Cu–Nb С НАСЫЩЕННЫМИ РАСПЛАВАМИ СВИНЦА

**Аннотация.** Проведены эксперименты по смачиванию слоистого композиционного материала Cu-Nb свинцом, предварительно насыщенном медью. Смачивание медью проводили в вакууме при 500°С на установке, позволяющей проводить эксперименты *in situ*. Выполнены электронно-микроскопические исследования линии смачивания на внешней поверхности и поперечном шлифе. В результате были измерены контактные углы, которые оказались близки к углам смачивания чистого ниобия (70°), и определено распределение компонентов расплава вблизи линий смачивания.

**Ключевые слова:** слоистый композиционный материал Cu-Nb, расплав Pb, межфазные поверхности, границы зерен.

### Введение

Композиционные материалы на основе меди используются в основном благодаря их высокой электропроводности [1, 2]. При этом механические свойства удается улучшить упрочняющей второй фазой, в качестве которой часто выступают высокотемпературные ОЦК металлы, такие как хром, ванадий, ниобий [3, 4]. Ниобий удобен в качестве упрочняющей фазы благодаря его высокой пластичности. Такой композиционный материал легко поддается прокатке, вытяжке, ковке и пр. Электротехнические применения Cu-Nb композиционных материалов требуют методик пайки, сварки. При этом работ по смачиванию двухфазных материалов вообще и Cu-Nb композитов в частности крайне мало. В работе [5] изучали смачивание и растекание расплава SnPb, и ряд работ посвящен реактивному смачиванию [6,7], смачиванию Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> жидкой медью, содержащей ниобий [8].

Целью представленной работы является изучение смачивания слоистого Cu-Nb композиционного материала свинцом, насыщенным медью. Такая система является модельной, т.е. структура и состав подложки просты и известны, свинец практически не растворяет ниобий, а смачивание меди свинцом тщательно изучено [9–11]. С учетом существенной разницы в поверхностных энергиях меди и ниобия следует ожидать характерной анизотропии растекания вдоль и поперек слоев слоистого композита [12]. Значительный интерес представляет также проникновение компонентов расплава (Pb) по внутренним поверхностям: границам зерен и межфазным границам Cu-Nb.

### Эксперимент

Многослойный композиционный материал Cu-Nb был получен многократной горячей прокаткой листов меди и ниобия технической чистоты (99.9 вес %). Для исследования использовали материалы со средней толщиной слоев около 50 мкм. Образцы размером 5×5×10 мм вырезали, шлифовали и полировали стандартными методами до шероховатости лучше 1 мкм. Поверхность образцов, перпендикулярную направлению слоев, смачивали расплавом свинца, предварительно насы-

ценным медью. Смачивание проводили на установке, подробно описанной в работе [9]. Метод позволяет проводить эксперименты по смачиванию *in situ* в вакууме  $10^{-5}$  торг, высокоскоростная съемка позволяет получать 1000 кадров в секунду. Характерный вид капель сверху изображен на рис. 1. Диаметр составляет около 2 мм.

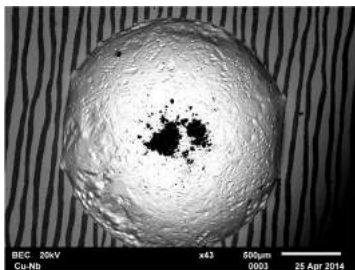


Рис. 1. SEM изображение капли свинца на поверхности слоистого композиционного материала Cu-Nb. Светлые полосы – слои Nb, темные – Cu, средняя толщина слоев около 50 мкм. Левая и правая стороны капли заканчиваются на слоях меди и повторяют их форму. В целом, форма капли равноосная

### Результаты

В результате проведенных экспериментов были получены высокоскоростные съемки растекания свинцовой капли по поверхности композиционного материала и по поверхности чистого ниобия. После охлаждения были проведены SEM исследования с EDX анализом поверхности композиционного материала вблизи линии смачивания (рис. 2, 3) и поперечного шлифа (рис. 4). Анализы выполнялись на микроскопе JEOL оснащенный приставкой для EDX анализа Oxford Instruments. На SEM изображениях светлые полосы соответствуют слоям ниобия, темные – меди. Видно, что, хотя средняя толщина слоя приблизительно 50 мкм, ниобиевые слои несколько толще медных. Поверхность между слоями не является плоской, при этом она не размыта. Поверхность свинцовой капли имеет эвтектическую структуру вследствие кристаллизации при охлаждении. На всех зависимостях интенсивности излучения от расстояния (рис. 3, б,в,г) красная линия соответствует Nb, зеленая – Cu, а синяя – Pb. Углы смачивания, полученные аппроксимацией профиля капли сферой, близки к  $70^\circ$  как для композиционного материала, так и для чистого ниобия. На микроскопических изображениях (рис. 2, б) видно, что контактные углы на медных и ниобиевых слоях различны. Угол на ниобиевых слоях также оценивается в  $70^\circ$ , а на медном слое в  $35^\circ$ .

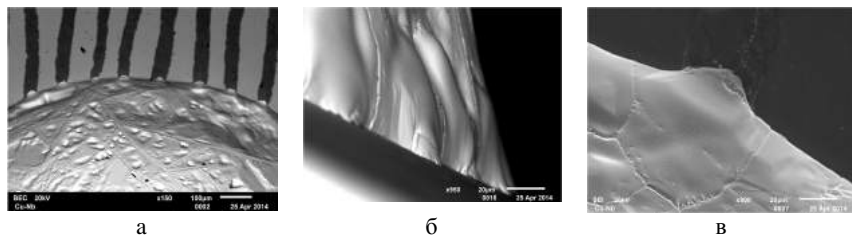


Рис. 2. SEM изображения контакта капли с поверхностью (а).

Видно, что слои ниобия и меди смачиваются по-разному (б): угол смачивания медных слоев около  $35^\circ$ , ниобиевых –  $70^\circ$

## Обсуждение

Результаты исследования показывают (см. рис. 1), что капля имеет равноосную форму, что не соответствует классическому представлению о растекании по многослойным поверхностям. Как показано в работах [12, 16], растекание по слоистой поверхности приводит к вытягиванию капли в одном из направлений. При температуре исследования в соответствии с работой [11] угол смачивания свинцом меди составляет около  $10^\circ$ . Оценка по SEM фотографиям приводит к значению около  $35^\circ$ . Причиной тому, по всей видимости, является влияние смежных областей смачивания (Nb).

SEM и EDX анализ поперечного шлифа не выявил жидкометаллического проникновения свинца по межфазным поверхностям или коррозии какого-либо из слоев в процессе эксперимента по смачиванию (рис. 3). Таким образом, смачивание происходит в условиях отсутствия существенного химического перераспределения компонентов подложки и расплава. Граница расплав-медь является более размытой, что, по-видимому, является следствием выпадения кристаллов второй фазы в процессе затвердевания расплава преимущественно на этих поверхностях. Однако отжиги в течение 2-х ч при  $500^\circ\text{C}$  показали, что происходит преимущественное растворение медных слоев и сглаживание прямоугольной формы слоев ниобия (рис. 4). Если предположить, что при этом устанавливается равновесие «расплав-внутренние межфазные поверхности», то, анализируя распределение капиллярных сил (рис. 4, б), можно прийти к выводу о том, что расплав находится в состоянии капиллярной депрессии. То есть поверхностные силы выталкивают расплав из «ниобиевого капилляра», и эта часть общей движущей силы должна препятствовать коррозии по медным слоям.

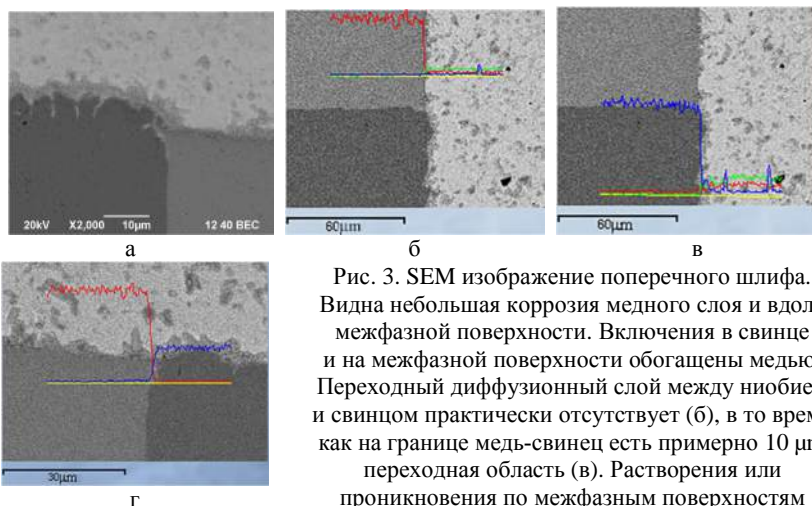


Рис. 3. SEM изображение поперечного шлифа. Видна небольшая коррозия медного слоя и вдоль межфазной поверхности. Включения в свинце и на межфазной поверхности обогащены медью. Переходный диффузионный слой между ниобием и свинцом практически отсутствует (б), в то время как на границе медь-свинец есть примерно  $10\ \mu\text{m}$  переходная область (в). Растворения или проникновения по межфазным поверхностям Cu-Nb свинца не наблюдается (г)

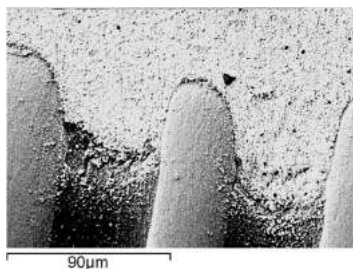


Рис. 4. Фотография линии смачивания свинец – композит (Cu-Nb) после изотермического отжига в течение 2-х ч. Видно, что происходит растворение медных слоев (темные области) и форма мениска – выпуклая, т.е. свинец плохо смачивает ниобий

#### Выводы

Изучено смачивание слоистого композиционного материала Cu-Nb расплавом свинца, предварительно насыщенного медью при 500°C в вакууме. Определены макроскопические углы смачивания, которые оказались равными для композита и ниобия и составили 70°. Форма растекшейся капли является равноосной. Микроскопические исследования показали, что на различных слоях углы смачивания разные и составляют примерно 35° для медного слоя и 70° для ниобиевого.

Исследование поперечного шлифа не выявило существенной коррозии ни по объему слоев, ни по межфазным поверхностям Cu-Nb. При этом вблизи поверхности смачивания медного слоя есть некоторая (в пределах 5 мкм) переходная зона, возникающая, по всей видимости, в процессе охлаждения расплава.

*Авторы благодарят доцента кафедры материаловедения Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, к.т.н. Плохих А. И. за предоставленные материалы, к.т.н. Горшенкова М.В., к.т.н. Ефимову Ю.Ю. и Ресурсный центр НИИ НС ФГБОУ ВПО МГТУ им. Г.И. Носова за проведение SEM и EDX исследований. Проект выполнен при финансовой поддержке РФФИ, 14-38-50021\_мол\_нр.*

#### Список литературы

1. W.A. Spitzig, H.L. Downing, F.C. Laabs, E.D. Gibson and J.D. Verhoeven, Strength and Electrical-Conductivity Of a Deformation-Processing Cu-5 Pct Composite, *Met. Trans. A*, 24 (1993) 7-14.
2. L. Deng, K. Han, K. T. Hartwig, T. M. Siegrist, L. Dong, Z. Sun, X. Yang, Q. Liu, Hardness, electrical resistivity, and modeling of *in situ* Cu-Nb microcomposites, *J. All. Comp.*, 602 (2014) 331-338.
3. W.A. Spitzig, A.R. Pelton, F.C. Laabs, Characterization of the strength and microstructure of heavily cold worked Cu-Nb composites, *Acta metal.*, 35, 10 (1987) 2427-2442.
4. L.G. Fritzemeier, High strength, high conductivity composites, *Nano. Mat.*, 1 (1992) 257-262.
5. H.K. Yeo, K.H. Han, Wetting and spreading of molten SnPb solder on a Cu-10%Nb micro-composite, *J. All. Comp.* 477 (2009) 278-282.
6. C.F. Old, I. Macphail, The mechanism and kinetics of growth of the superconducting compound Nb<sub>3</sub>Sn, *J. Mater. Sci.* 4 (1969) 202-207.

7. Y. Muranish, M. Kajihara, Growth behavior of Nb<sub>3</sub>Sn layer during reactive diffusion between Cu-8.3Sn alloy and Nb, Mater. Sci. Eng. A 404 (2005) 33–41.
8. M. L. Shalz, B. J. Dalgleish, A. P. Tomsia, R. M. Cannon, A. M. Glaeser, Ceramic joining III bonding of alumina via Cu/Nb/Cu interlayers, J. Mat. Sci 29 (1994) 3678-3690.
9. V. Timoshenko, V. Bochenkov, V. Traskine, P. Protsenko, Anisotropy of Wetting and Spreading in Binary Cu-Pb Metallic System: Experimental Facts and MD Modeling, J. Mat. Eng. Perf., v. 21 (2012) 575-584.
10. G. L. J. Bailey and H. C. Watkins, Surface Tensions in the System Solid Copper-Molten Lead, Proc. Phys. Soc. B 63 (1950) 350-358.
11. M. Nakamoto, M. Liukkonen, M. Friman, E. Heikinheimo, M. Hamalainen, and L. Holappa, Measurement of Surface Tension of Solid Cu by Improved Multiphase Equilibrium, Met. Mat. Trans B, VOL. 39B (2008) 570-580.
12. Y. V. Naidich, R. P. Voitovich, and V. V. Zabuga, Wetting and Spreading in Heterogeneous Solid Surface-Metal Melt Systems, J. Colloid Interface Sci., 174, (1995) 104-115.
13. N. Eustathopoulos, and J. C. Joud in Current Topics in Materials Science, Ed. E. Kaldis, Vol. 4, p. 281, North Holland, Amsterdam (1980).
14. E. Gershman, S. Zhevnenko, Isothermes of surface and grain boundary tension of Cu-based alloys with Sb, Sn, In, Dif. Def. Data, v. 273-276 (2008) 608-615.
15. L.E. Murr, Interfacial phenomena in metals and alloys (Addison Wesley, Reading, MA, 1975) p. 387.

УДК 628.336

**Н.С. Царев**

## **МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КОМБИНАТОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

**Аннотация.** Рассмотрены основные проблемы кондиционирования, обезвоживания и утилизации осадков производственных сточных вод, образующихся на комбинатах черной металлургии с полным производственным циклом. Приведены результаты собственных исследований по обработке осадков, а также данные научно-технической литературы.

**Ключевые слова:** черная металлургия, производственные сточные воды, осадки, обезвоживание осадков, утилизация.

В процессе функционирования основных подразделений комбинатов черной металлургии полного производственного цикла образуются следующие осадки:

- 1) Осадки «грязных» оборотных циклов водоснабжения прокатных цехов.
- 2) Осадки «мокрых» газоочисток агломерационного, доменного, конвертерного и электросталеплавильных производств.
- 3) Осадки эмульсионных и маслосодержащих сточных вод.
- 4) Осадки станций нейтрализации.



5) Осадки после очистки производственно-дождевых сточных вод.

На очистных сооружениях «грязных» оборотных циклов водоснабжения прокатных цехов осадки образуются в первичных и вторичных отстойниках.

Осадки из первичных отстойников (ям окалины) прокатных цехов с содержанием  $Fe_{\text{общ}}$  до 70% от массы твердой фазы после гравитационного обезвоживания в дренажных бункерах утилизируют в качестве подшихтовочного материала в агломерационном производстве [1].

Окалиномаслосодержащие осадки из вторичных отстойников прокатных цехов имеют усредненный состав твердой фазы (% от массы твердой фазы):  $Fe_{\text{общ}}$  (68–72), FeO (45–53), CaO (0,5),  $SiO_2$  (3), MnO (0,03) [1]. Их эффективно обезвоживать методами гравитационного сгущения и фильтрования в аппаратах ОКУД [2], а затем обезмасливать термическим методом [3] или химическим [4]. После этого осадки могут быть также использованы в качестве добавки к агломерационной шихте.

Осадки «мокрых» газоочисток агломерационного, доменного и конвертерного производств сгущают в гравитационных условиях, механически обезвоживают на дисковых вакуум-фильтрах, термически сушат и утилизируют в агломерационном производстве [5]. За рубежом для механического обезвоживания подобных осадков используют мембранные фильтр-прессы [6].

Исследования автора показывают, что наибольшие трудности возникают с переработкой осадков «мокрых» газоочисток электросталеплавильных производств. В процессе их функционирования образуются мелкодисперсные осадки с малой долей железа и повышенным содержанием цинка и других цветных металлов, например токсичного хрома шестивалентного (до 10% от массы твердой фазы). Технологии обработки подобных осадков должны включать дополнительные стадии удаления нежелательных примесей и обезвреживания от токсичных веществ.

На металлургических комбинатах образуются эмульсионные и маслосодержащие сточные воды. Одним из перспективных и широко внедряемых методов их обезвреживания является реагентный, предусматривающий последовательную обработку производственных сточных вод твердофазным реагентом и катионным флокулянтom с осветлением в отстойнике-флокуляторе [7]. В процессе отстаивания образуется осадок с содержанием фазы 80–100 г/дм<sup>3</sup> в количестве до 25% от исходного объема производственных сточных вод. Исследования автора показывают, что осадки такого типа могут быть обезвожены с помощью барабанных вакуум-фильтров до влажности 75–80% или фильтр-прессов до влажности 40%. Для утилизации обезвоженный осадок может быть направлен, например, в производство строительных материалов.

На многих металлургических комбинатах не решен вопрос с обезвоживанием и утилизацией осадков очистных сооружений (так называемых «станций нейтрализации») цехов обработки поверхности металла.

При травлении, меднении, фосфатировании, бурировании и других подобных операциях образуются концентрированные отработанные растворы и слабо концентрированные промывные воды этих технологических операций. На большинстве металлургических комбинатов осуществляют совместную нейтрализацию

отработанных технологических растворов и промывных вод «известковым молоком» с последующим сбросом их без разделения фаз в накопители отходов. Уже давно обосновано [7], что такой подход недопустим. Концентрированные растворы следует регенерировать, а промывные воды подвергать нейтрализации, доочистке и повторному использованию в производственном водоснабжении. Образующиеся труднофильтруемые осадки рекомендуется обрабатывать флокулянтами, сгущать и механически обезвоживать. Осадки после нейтрализации сернокислых железосодержащих промывных вод могут быть кондиционированы с получением хорошофильтруемого магнетитового осадка [8].

В настоящее время чрезвычайно актуальными задачами являются очистка сточных вод производственно-дождевой канализации промышленных предприятий и последующее их использование в производственном водоснабжении. На металлургических комбинатах очистку указанных сточных вод производят в прудах-отстойниках и на сооружениях глубокой физико-химической очистки [9].

На крупных металлургических комбинатах могут образовываться до нескольких десятков потоков производственных сточных вод различного состава, которые по сетям производственно-дождевой канализации совместно с поверхностными сточными водами поступают в пруды-отстойники оборотного водоснабжения, занимающие десятки, а иногда и сотни гектаров. Осветленную воду из прудов-отстойников, как правило, подают в системы производственного водоснабжения, избыточное количество воды отводят в водные объекты.

Исследования автора показывают, что в прудах-отстойниках образуются в большом количестве осадки смешанного состава. Плотность твердой фазы подобных осадков может достигать  $3200 \text{ кг/м}^3$ . Среднее содержание нефтепродуктов в осадке составляет 0,8% от массы твердой фазы, максимальное – 3,5%. Содержание металлов в твердой фазе осадка в среднем (% от массы твердой фазы): Al – 1,4, Ca – 16, Fe – 24,7, Mg – 1,3, Mn – 0,3, Zn – 1,3. Можно рассматривать подобные осадки как вторичные материальные ресурсы, утилизируемые, например, в качестве добавки к агломерационной шихте. Предварительно осадки должны быть кондиционированы и обезвожены и при необходимости подвергнуты корректировке химического состава.

В результате глубокой реагентной физико-химической очистки сточных вод производственно-дождевой канализации металлургических предприятий образуется осадок в количестве до 0,5% от объема очищаемых сточных вод. Влажность осадка – 97–98,5%, плотность твердой фазы –  $2500\text{--}2650 \text{ кг/м}^3$ . Среднее содержание нефтепродуктов в осадке составляет 3% от массы твердой фазы. Содержание металлов в твердой фазе осадка в среднем (% от массы твердой фазы): 2,6–6,2 Al, 1,6–5,7 Fe, 0,002–0,1 Cd, 0,001–1,33 Cu, 0,01–0,05 Ni, 0,01–0,33 Zn, 0,01–0,03 Pb, 0,04–0,25 Cr. Осадок является труднофильтруемым. Технология переработки осадков этого типа включает стадии флокуляционной обработки, сгущения и механического обезвоживания до влажности 70%. Обезвоженный осадок может быть утилизирован, например, на цементном заводе в качестве компонента шихты клинкера [10].

Кроме того, металлургическим комбинатам полного производственного цикла сопутствуют теплоэлектроцентрали, коксохимические производства и другие

подразделения, при функционировании которых образуются также значительное количество разнообразных осадков, обезвоживание и утилизация которых является важной задачей.

В заключение сформулируем следующие выводы:

1) Одним из основных источников негативного воздействия комбинатов черной металлургии на человека и природную среду являются осадки производственных сточных вод, поскольку они содержат нефтепродукты, соединения металлов и др. вещества.

2) Технология переработки любого типа осадка металлургического комбината должна включать в себя стадии кондиционирования, обезвоживания и утилизации. При этом предпочтение следует отдавать механическим методам обезвоживания осадков.

3) Осадки основных производственных процессов металлургических комбинатов представляют собой вторичные материальные ресурсы, поскольку имеют высокое содержание железа и других ценных компонентов.

#### Список литературы

1. Шатоха В. И., Пинчук С. И. Вторичные ресурсы металлургии. Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2009. 338 с.
2. Галкин Ю. А., Сидорова И. А. Технология обезвоживания окалиномаслосодержащих осадков // Сталь. 2007. № 12. С. 91–93.
3. Агрегат для тепловой обработки дисперсных материалов и его промышленная реализация / Е.Г. Подковыркин, Ю.С. Жуков [и др.] // Сталь. 2010. № 3. С. 27–29.
4. Лотош В. Е. Переработка отходов природопользования. Екатеринбург: Полиграфист, 2007. 503 с.
5. Водное хозяйство промышленных предприятий: справочное издание: в 6 кн. Кн. 2 / В.И. Аксенов, Ю.А. Галкин [и др.]; под ред. В.И. Аксенова. М.: Теплотехник, 2005. 432 с.
6. Kurita Handbook of Water Treatment / T. Hosokawa, M. Iwasaki [et al.]. 2nd english ed. Tokyo: Kurita Water Industries Ltd., 1999. 499 p.
7. На ММК внедрена новая технология // Металлург. 2012. № 8. С. 75.
8. Сериков Н.Ф., Ильичев Ю.И. Кислотное хозяйство на заводах черной металлургии. М.: Металлургия, 1974. 160 с.
9. Галкин Ю.А. Результаты работы очистных сооружений промышленно-линейной канализации Уралмашзавода // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов: сб. науч. статей XII междунар. науч.- практ. конф. Харьков: Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь», 2004. С. 147–148.
10. Царев Н.С. Обезвоживание осадков при очистке сточных вод дождевой и промышленно-дождевой канализации с применением алюмосиликатных сорбентов и флокулянтов // Водоочистка. 2012. № 9. С. 37–47.

И.А. Афонин, М.П. Емельянова

## МИГРАЦИЯ СВИНЦА И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ В ПОЧВУ И ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

**Аннотация.** Рассмотрены структура электротехнических отходов, содержащих свинец, микроструктура оловянно-свинцовых сплавов, химические свойства оловянно-свинцовых припоев, пути и формы миграции свинца в почву из оловянно-свинцовых припоев, конечные формы существования свинца в почве и поверхностных водах.

**Ключевые слова:** свинец, оловянно-свинцовые припой, электротехнические отходы, загрязнение почвы, загрязнение поверхностных и подземных вод.

По данным доклада ООН, в 2014 году во всём мире образовалось 41,7 млн т электротехнических отходов. В их составе следующие компоненты:

- *цветные металлы и сплавы цветных металлов* (проводники, электрическая арматура, припой, корпуса радиодеталей, контактные выводы электронных микросхем и радиодеталей);
- *органические полимерные материалы* (изоляция проводников, печатные платы, корпуса радиодеталей и готовых электротехнических изделий);
- *сплавы железа* (корпуса, шасси, крепёжные элементы);
- *полупроводниковые материалы* (транзисторы, диоды, микросхемы).

Данные о массе отходов, по-видимому, являются комбинацией различных по степени достоверности сведений:

- *масса отходов, размещённых на организованных полигонах и свалках* (средняя степень достоверности);
- *масса отсортированных электротехнических отходов и отходов, поступивших на переработку* (высокая степень достоверности);
- *масса электротехнических компонентов, произведённых за отчётный год, а также предыдущие годы, с учётом среднего срока службы электротехнических и электронных изделий* (низкая степень достоверности).

Как видим, в данной статистике не представлены отходы, размещённые на несанкционированных свалках бытового мусора. Это связано с тем, что вышеуказанные объекты не поддаются строгому контролю и учёту. Таким образом, общая масса отходов должна составить, по разным оценкам, величину в 1,3–1,5 раз большую. При этом размещённые на несанкционированных свалках отходы потенциально опаснее для окружающей природной среды ввиду того, что они находятся вблизи мест проживания людей, сельскохозяйственных, источников питьевого водоснабжения и т.п.

В данной статье рассмотрена часть электротехнических отходов – оловянно-свинцовые припой как источник миграции свинца в почву и поверхностные (а также подземные) воды. При этом свинец в электротехнических отходах содержится не только в припоях (в виде сплавов с оловом), но и во многих других изделиях – электронно-лучевые трубки, свинцовые и свинцово-цинковые аккумуляторы, радиодетали и пр. Авторами выбрана миграция свинца из сплавов с оловом

по причине того, что соответствующие отходы преобладают по отношению к другим вышеперечисленным именно на несанкционированных салках мусора, размещаются непосредственно у поверхности земли и подвержены физико-химическим превращениям под действием климатических и антропогенных факторов (солнечное излучение, атмосферные осадки, взаимодействие с другими отходами и пр.).

Наиболее распространёнными оловянно-свинцовыми припоями, использующимися в отечественных электротехнических изделиях, являются припой ПОС 40 и ПОС 61 [1]. Микроструктура оловянно-свинцовых сплавов, на основе которых производятся эти припои, приведена на диаграмме состояния сплавов олова и свинца [2] (рис. 1).

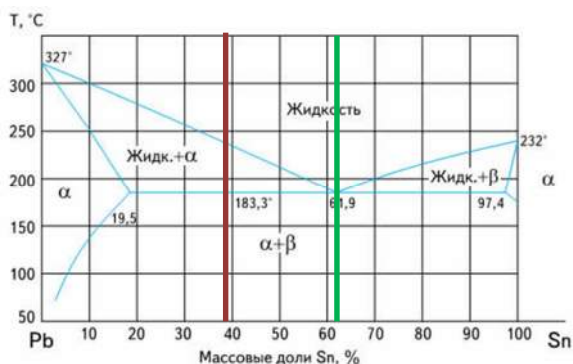


Рис. 1. Диаграмма состояния сплавов олова и свинца:

Сплав, соответствующий припою ПОС 40, – это доэвтектический сплав, смесь эвтектики и твёрдого раствора на основе свинца. Припой имеет широкое применение благодаря оптимальному сочетанию текучести в жидком и прочности в остывшем состоянии, а также электропроводности и устойчивости к низким температурам.

Сплав, соответствующий припою ПОС 61, – это эвтектический сплав, более пластичный и легкоплавкий, чем ПОС 40. Применяется для пайки мелких радиодеталей и электронных компонентов (особенно при малых расстояниях между контактными площадками).

Как видно из структуры, сплавы содержат по массе 60 и 39% свинца соответственно. Химические свойства припоев ПОС 40 и ПОС 61 обусловлены, таким образом, микроструктурой соответствующих сплавов [2]:

ПОС 61 – эвтектический однородный сплав, содержащий большее количество олова, поэтому химическая активность сплава определяется скоростью окисления олова. На воздухе поверхность сплава покрывается прочной оксидной плёнкой  $\text{SnO}_2$ , препятствующей дальнейшему окислению. Тем не менее олово и свинец взаимодействуют с азотной кислотой (даже разбавленной) с образованием нитратов.

ПОС 40 – содержит больше отдельных зёрен (кристаллитов) свинца, в т.ч. и на поверхности сплава, поэтому на воздухе свинец постепенно разрушается водой, образуя гидроксид  $Pb(OH)_2$ .

Пути миграции свинца в почву, а также поверхностные и подземные воды из оловянно-свинцовых припоев [3]:

– в результате взаимодействия с *нейтральными* атмосферными осадками – в виде свободного  $Pb$ , а также ионов  $Pb^{2+}$  и  $[PbOH]^+$ ;

– в результате взаимодействия с *кислыми* атмосферными осадками – в виде ионов  $Pb^{2+}$ , комплексных соединений  $[PbOH]^+$ ,  $[PbCO_3]^0$ ,  $[PbSO_4]^0$ , а также металлоорганических комплексов.

Конечными формами существования свинца в почве и поверхностных водах будут, в зависимости от pH почвенного раствора, карбонаты и гидрокарбонаты, сульфаты, комплексные соединения с гуминовыми и фульвокислотами [3] (рис. 2).

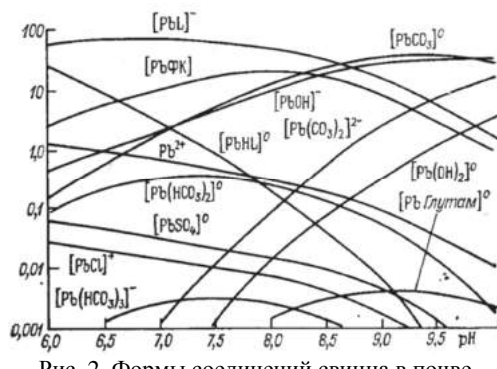


Рис. 2. Формы соединений свинца в почве в зависимости от pH почвенного раствора

Таким образом, для дальнейшего исследования миграции свинца выбраны следующие направления:

1. Определение массового количества свинца, поступающего в раствор из припоев, при воздействии нейтральных и кислых вод.
2. Определение степени адсорбции ионов  $Pb^{2+}$ , образования органокомплексов и нерастворимых соединений свинца в почве, имеющей слабощелочную реакцию.
3. Разработка новых экономичных методов извлечения оловянно-свинцовых припоев из отходов взамен существующих.

#### Список литературы

1. ГОСТ 21930-76. Припой оловянно-свинцовые в чушках.
2. Глинка Н.Л. Общая химия. 30-е изд., испр. М., 2003. 728 с.
3. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 271 с.

**Н.И. Барышникова, Е.С. Вайскрובה, В.Ф. Рябова**

## **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ**

***Аннотация.** Рассмотрен процесс управления качеством на предприятиях общественного питания, представлено обоснование необходимости внедрения систем качества и безопасности и их интеграция.*

***Ключевые слова:** качество, общественное питание, управление качеством и безопасностью, система менеджмента качества, система ХАССП, интегрированная система управления качеством и безопасностью.*

Общественное питание является одной из отраслей, которая направлена на удовлетворение потребностей населения. Социальная направленность современной рыночной экономики, ориентация на создание условий, обеспечивающих достойную жизнь и развитие человека, со всей остротой выдвигают необходимость качественных изменений этой сферы услуг.

В условиях рыночных отношений управление качеством на сервисных предприятиях становится важным фактором, основное содержание которого - обеспечение оптимального уровня услуг, способного полностью удовлетворить все запросы потребителя. Высокое качество услуг является самой весомой составляющей, определяющей их конкурентоспособность. Только на основе высокого качества своей работы сервисное предприятие может выжить в условиях конкуренции и получать устойчивую прибыль.

В связи с этим возникает необходимость совершенствования управления предприятиями общественного питания, ориентированного на повышение качества и безопасности услуг с целью наиболее полного удовлетворения потребностей населения.

Процесс управления качеством в сфере обслуживания рассматривается как составная часть деятельности по предоставлению услуги, надежно гарантирующая постоянное соответствие услуги требованиям спецификации и полное удовлетворение запросов пользователя, что достигается путем контроля за показателями процесса предоставления услуги и необходимой корректировкой деятельности.

Услуги общественного питания подразделяют на: услуги питания; услуги по изготовлению продукции общественного питания; услуги по организации потребления продукции общественного питания и обслуживанию; услуги по реализации продукции общественного питания и покупных товаров; услуги по организации досуга, в том числе развлекательные; информационно-консультационные (консалтинговые) услуги и прочие услуги общественного питания [3].

В каждой сфере услуг существуют свои показатели качества. Показатели качества услуг общественного питания включают [4]:

1. Показатели назначения: показатели применения, показатели совместимости, показатели предприятия и специфические показатели.
2. Показатели безопасности: показатели безопасности для жизни, здоровья и имущества граждан и показатели безопасности для окружающей среды.

3. Показатели надежности: показатели надежности результата услуги (сохраняемость), показатели стойкости результата услуги к внешним воздействиям и показатели надежности предоставления услуги.

4. Показатели профессионального уровня персонала: показатели профессиональной подготовки и квалификации, показатели способности к руководящей деятельности и показатели знания и соблюдения профессиональной этики поведения.

В обеспечении качества услуг применяют такие методы, как:

- использование инновационных технологий маркетинга, менеджмента продаж, обучения и повышения квалификации кадрового персонала;
- развитие государственно-частного партнерства в инфраструктуре малого и среднего бизнеса;
- формирование целей и задач в системе обеспечения качества для каждого структурного подразделения;
- совершенствование предупреждающих действий и управление ими с целью идентификации неудовлетворенности потребителя и неудовлетворенного спроса;
- постоянное повышение профессионального уровня кадрового персонала;
- разъяснение персоналу задач в сфере обеспечения качества услуг и создание со стороны руководства условий для их реализации;
- организация постоянной работы с потребителем (учет и анализ претензий и пожеланий, изучение спроса на предоставляемые услуги);
- работа с поставщиками по расширению ассортимента и качества поставляемой (закупаемой) продукции;
- регулярное проведение внутренних проверок эффективности функционирования системы качества услуг;
- совершенствование форм и методов организации и повышения культуры производства и обслуживания;
- развитие форм самостоятельности персонала в области качества в предоставлении качественных услуг посредством создания специализированных групп качества;
- информативность системы качества среди персонала в структурных подразделениях;
- проверка знаний кадрового персонала при подтверждении соответствия занимаемой должности;
- проверки понимания работником собственной роли в обеспечении качества и системы качества услуг в процессе функционирования предприятия;
- ознакомление вновь принимаемого на работу персонала с положениями системы качества услуг [10].

Для обеспечения необходимого уровня качества услуг и безопасности продукции общественного питания предприятиям нужны передовые технологии, необходимая материальная база, квалифицированный персонал, рациональная организация работ, эффективное управление предприятием с привлечением систем управления качеством и безопасностью [5–7, 9].

Стабильному обеспечению качества продуктов и услуг во многом способствует внедрение на предприятиях системы менеджмента качества в соответствии с требованиями ИСО 9001, которая определяет для клиентов уровень сервиса предприятия [8].



В соответствии с техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 при осуществлении процессов производства (изготовления) пищевой продукции, связанных с требованиями безопасности такой продукции, изготовитель должен разработать, внедрить и поддерживать процедуры, основанные на принципах ХАССП (в английской транскрипции HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Points) [11]. Поэтому для обеспечения безопасности продукции общественного питания на предприятии необходимо разработать и внедрить систему ХАССП на основе стандарта ГОСТ Р ИСО 22000.

В связи с этим актуальна необходимость создания интегрированной системы управления качеством и безопасностью на предприятиях общественного питания, базирующейся на стандартах ИСО 9001 и ГОСТ Р ИСО 22000 [1, 2].

Необходимость создания интегрированной системы управления качеством и безопасностью на предприятиях общественного питания обусловлена возможностью координировать на системной основе управление важными для предприятия направлениями деятельности, такими как качеством и безопасностью выпускаемой продукции и предоставления услуг.

Внедрение интегрированной системы позволит предприятиям общественного питания увязать требования к безопасности и качеству продукции и услуг, управлять ими и удовлетворить требования потребителей, обеспечивая при этом конкурентоспособность предприятий общественного питания.

#### Список литературы

1. Вайскрובה Е.С., Барышнікова Н.И. Сертифікація і управління якістю на базі стандартів ІСО серії 9000: учебное пособие. Магнітогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 147 с.
2. Вайскрובה Е.С., Песин А.М. Проектирование интегрированной системы менеджмента качества и безопасности на основе процессного подхода // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнітогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Т. 1. С. 3-6.
3. ГОСТ Р 50764-2009. Услуги общественного питания. Общие требования.
4. ГОСТ Р 52113-2003. Услуги населению. Номенклатура показателей качества.
5. Долматова И.А., Рябова В.Ф., Персецкая К.М. Актуальные вопросы организации питания в столовых при производственных предприятиях // Эколого-биологические и медицинские проблемы регионов России и сопредельных территорий: материалы Всероссийской научной конференции. Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. С. 254-256.
6. Инновационные технологии в системе корпоративного питания / Долматова И.А., Рябова В.Ф., Персецкая К.М., Курочкина Т.И. // Современные технологии продуктов питания: материалы Международной научно-практической конференции. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. С. 75-77.
7. Зайцева Т.Н., Барышнікова Н.И. Состояние и перспективы развития общественного питания // Вклад молодых учёных в реализацию приоритетного национального проекта «Развитие агропромышленного комплекса»: сб. науч. тр. Троицк: УГАВМ, 2008. С. 104-106.

8. Маюрникова Л.А., Крапива Т.В., Кокшаров А.А. Обоснование необходимости внедрения систем качества на предприятиях общественного питания // Ползуновский вестник / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2011. №3. С. 192-196.
9. Рябова В.Ф., Барышникова Н.И. Применение различных методов и средств обучения в процессе подготовки специалиста общественного питания // Качество продукции, технологий и образования: Материалы V всероссийской научно-практической конференции. Магнитогорск: МГТУ, 2010. С. 233-240.
10. Сидякова В.А. Алгоритм взаимосвязи эффективности и качества услуг в общественном питании // Publishing House "ANALITIKA RODIS". 2014. С. 77-89.
11. Технический регламент Таможенного союза 021/2011. О безопасности пищевой продукции [Текст]. Введ. 2013-07-01. 243 с.

УДК [622.7.016.3:543.4]:622.341

**Т.Б. Понамарева, Т.М. Арапова**

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВЫХ ДОЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ В МАГНЕЗИТЕ РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ**

***Аннотация.** Разработана методика измерений количественного химического анализа магнезита из сырья ООО «Группа «Магнезит» на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Quant'X. Проведена работа по выбору способа подготовки проб к анализу. Установлены градуировочные характеристики с помощью имеющихся стандартных образцов и массива проб с различным содержанием компонентов. Методика анализа обеспечивает получение результатов анализа с погрешностью, не превышающей предела допускаемой погрешности по ГОСТ Р 55410-2013.*

***Ключевые слова:** методика измерений, магнезит, химический состав, рентгенофлуоресцентный спектрометр, градуировочные характеристики, стандартные образцы, нормативные документы.*

В настоящее время на кафедре ФХ и ХТ проводится научно-исследовательская работа «**Повышение эффективности технологии получения оксида магния из сырья ООО «Группа «Магнезит».** Задачей работы является разработка технологии термомеханического обогащения магнезита из сырья ООО «Группа «Магнезит».

В нашей лаборатории разработана методика измерений, предназначенная для определения химического состава магнезита **Саткинского месторождения** – магнезильного сырья с низким содержанием оксида магния и **Киргитейского месторождения** – высокомагнезильного сырья [1].

Проведение анализа химическим методом по ГОСТ 2642 «Огнеупоры и огнеупорное сырье» [2] трудоемко и отнимает до 2 сут, а время проведения анализа образца рентгенофлуоресцентным методом составляет 1,5 ч, с учетом подготовки проб анализируемого материала.

Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр Quant`X предназначен для автоматического проведения экспрессного многокомпонентного анализа различных материалов.

При подготовке аналитической пробы для выполнения измерений рентгенофлуоресцентным методом исходную пробу измельчают до размера частиц 63 мкм в два этапа: с помощью мельницы – ступки PULVERISETTE 2 (рис. 1) до крупности 100 мкм, а затем домалывают на вибромельнице MM400 (рис. 2) до 63 мкм. Каждую лабораторную пробу необходимо контролировать на степень измельчения. Для этого берут контрольную навеску аналитической пробы и пропускают ее через сито с сеткой № 0063. Вся проба должна проходить через сито без остатка. Если на сите остаются недомолотые частички, то следует выяснить и устранить причины недомола.

Заключительный этап подготовки пробы – прессование образца на подложке из борной кислоты на гидравлическом прессе VANEОХ 40t.

Оставшуюся неиспользованную часть лабораторной пробы хранят в течение всего времени проведения научно – исследовательской работы на случай повторной реализации процедуры анализа.

В процессе подготовки пробы нельзя допускать потерь пробы и загрязнения ее посторонними частицами и материалом вспомогательного оборудования.

Все пробы должны быть приготовлены одинаковым образом.



Рис. 1. Мельница – ступка PULVERISETTE 2



Рис. 2. Вибромельница MM400

Методика количественного химического анализа содержания оксида магния, оксида алюминия, оксида кремния (IV), оксида кальция, оксида железа (III), серы в магнезитах и в продуктах их переработки рентгенофлуоресцентным методом обеспечивает получение результатов анализа с погрешностью, не превышающей предела допустимой погрешности по ГОСТ Р 55410-2013 «Огнеупоры. Химический анализ рентгенофлуоресцентным методом» [3].

Для создания метода требовалось:

1. Изучение нормативных документов (ГОСТы, рекомендации, технические требования):

- ГОСТ 2642 «Огнеупоры и огнеупорное сырье»;
- ГОСТ Р 55410-2013 «Огнеупоры. Химический анализ рентгенофлуоресцентным методом»;

- РМГ 76 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа» [4].

А также технические требования на исходное сырье:

- ТТ 72664728-471-2013 «Магнезит сырой дробленый Киргитейского месторождения. Технические требования» [5];
- ТТ 72664728-473-2013 «Магнезит кальцинированный Киргитейского месторождения. Технические требования» [6].

И другие документы.

## 2. Наличие стандартных образцов анализируемого материала

Для установления градуировочных характеристик необходимы стандартные образцы. В наличии один образец К6г – стандартный образец состава огнеупора магнезитового с аттестованными значениями массовых долей MgO, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## 3. Наличие проб, выполненных химическим методом анализа по всему диапазону методики измерения

Для установления градуировочных характеристик, чтобы охватить весь диапазон измерений, были использованы пробы, проанализированные стандартизованным методом в университете на кафедре ФХ и ХТ, в ЦЛК ОАО «ММК», в химической лаборатории ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка.

## 4. Компоненты и возможность их определения

Анализируемые компоненты и диапазон их измерений определялись согласно техническим требованиям на исходное сырье, а также наличием стандартных образцов и проб, выполненных химическим методом анализа.

## 5. Определение оптимальных условий измерений по каждому компоненту

Условия измерений выбирали, исходя из технических особенностей спектрометра, чтобы обеспечить требуемую чувствительность, точность, наименьшее влияние фона.

## 6. Построение градуировочных характеристик по каждому компоненту

Градуировочные характеристики были определены экспериментально для всех анализируемых компонентов: MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, S, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Расчет массовых долей определяемых компонентов неизвестных образцов выполняется по измеренным интенсивностям их аналитических линий с помощью градуировочных характеристик.

## 7. Проведение анализа рабочих проб и обработка полученных результатов

Массовую долю каждого компонента определяют в двух подготовленных образцах пробы. Для этого выполняют измерение данных образцов, получают два результата единичного измерения  $X_1$  и  $X_2$  по каждому компоненту. Если абсолютное расхождение полученных результатов не превышает предела повторяемости  $R$ , то в качестве результата измерений принимают их среднее арифмети-

ческое значение. Если условие не выполняется, готовят дополнительно два образца этой же пробы, выполняют их измерение в условиях повторяемости и получают еще два результата единичного измерения  $X_3$  и  $X_4$ . Если расхождение между максимальным и минимальным значениями четырех измерений не превышает допустимое значение  $CR_{0,95}$ , в качестве результата измерений принимают среднее арифметическое значение четырех результатов единичного измерения.

Предел повторяемости и критический диапазон повторяемости для четырех параллельных определений установлены согласно ГОСТ Р 55410.

#### 8. Оформление результатов анализа

Все результаты описываются с погрешностью. Погрешность методики измерений установлена согласно ГОСТу 55410.

#### Заключение

Использование методики измерений магнетита рентгеноспектральным методом позволяет оперативно оценить содержание химических компонентов в материале проб и определить направление в области научных исследований всех стадий получения оксида магния из сырья ООО «Группа «Магnezит».

#### Список литературы

1. Определение химического состава природных и техногенных ресурсов на базе энергодисперсионного рентгеновского спектрометра ARL QUANT'X / Понамарева Т.Б., Шабалин Е.И. и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71 межрегиональной научно-технической конференции / под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. Т.1. С.165-168.
2. ГОСТ 2642.0 – 86. Огнеупоры и огнеупорное сырье. Общие требования к методам анализа.
3. ГОСТ Р 55410 – 2013. Огнеупоры. Химический анализ рентгенофлуоресцентным методом.
4. РМГ 76. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа.
5. ТТ 72664728-471-2013. Магnezит сырой дробленый Киргитейского месторождения. Технические требования.
6. ТТ 72664728-473-2013. Магnezит кальцинированный Киргитейского месторождения. Технические требования.

Н.И. Мамедалина, Н.Ю. Свечникова, С.В. Юдина

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ НА ЦОФ «БЕЛОВСКАЯ»

**Аннотация.** В работе изучены отходы флотации ЦОФ «Беловская» и возможные способы их утилизации. Отходы имеют высокую зольность и низкую флотационную активность, поэтому операция доочистки нецелесообразна. В работе предлагается использование отходов в энергетических целях на ЦОФ «Беловская» в установках низкотемпературного кипящего слоя.

**Ключевые слова:** отходы флотации, уголь, флотационная активность, топка низкотемпературного кипящего слоя.

В настоящее время ЦОФ «Беловская» остается одним из основных поставщиков угольного концентрата ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Так, количество поставляемых угольных концентратов на КХП ОАО «ММК» в 2014 году ЦОФ «Беловская» – около 2,5 млн т, что составляет 34,5% от общего объема [1].

На данный момент на фабрике наиболее актуальна проблема большого объема накопившихся отходов обогащения. В работе проведен анализ исследований в области использования отходов флотации угля. Основными направлениями использования отходов добычи и обогащения каменного угля являются:

- возврат низкозольных отходов на доочистку с целью более полного извлечения горячей массы в концентрат;
- в энергетических целях в установках для сжигания высокозольных отходов;
- в черной и цветной металлургии – для производства огнеупоров и сырьевых добавок;
- в строительной промышленности для производства агломерата, цемента, кирпича и др.;
- в химической промышленности – в качестве компонента при получении сернистых соединений.

В апреле 2014 г. на ЦОФ «Беловская» были отобраны отходы флотации и изучены их технический и ситовый анализ, содержание минеральных компонентов, флотационная активность [2].

Результаты исследований показали, что отходы флотации представляют собой сфлукулированные гранулы крупностью менее 13 мм, влажностью 19,7%, зольностью 68,9%, выход летучих 16,6%, содержание серы 0,5% (табл. 1).

Таблица 1  
Технический анализ отходов флотации ЦОФ «Беловская»

Влажность, %	Зольность, %	Выход летучих веществ, %	Содержание серы, %
19,7	68,9	16,6	0,5

Ситовый анализ показал, что распределение по классам и зольности неравномерное. Наибольший выход имеет класс -0,05 мм, при этом он является более минерализованным, его зольность составляет 70,55%. Минеральная часть отходов представлена содержанием оксида кремния, алюминия, кальция, железа, калия, магния, титана, фосфора (табл. 2) [3].

Таблица 2  
Содержание минеральных компонентов в отходах ЦОФ «Беловская»

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Содержание в отходах, масс. %	26,8	8,88	1,34	2,23	0,25	1,13	0,67	0,34	0,10

В табл. 3 приведены результаты флотации отходов с использованием различных флотационных реагентов. Так, при использовании наиболее эффективного реагентного режима – ГФО и Экофол 440S выход концентрата составил 7,3% с зольностью 57,9%. Исследование флотационной активности отходов показали, что они имеют низкую флотационную активность [4].

Таблица 3  
Показатели флотации угольных отходов ЦОФ «Беловская»

Реагентный режим		Расход реагентов, кг/т		Продукт флотации	Выход, %	Зольность, %
Собира-тель	Вспенива-тель	Собира-тель	Вспени-ватель			
ГФО	КОБС	1,91	0,6	концентрат	6,0	62,4
				хвосты	94,0	69,3
	Экофол 440S	1,91	0,6	концентрат	7,3	57,9
				хвосты	92,7	69,8
Нефрас	КОБС	1,97	0,6	концентрат	3,6	59,0
				хвосты	96,4	69,3

Так как отходы имеют высокую зольность и низкую флотационную активность, то операция доочистки нецелесообразна. Поэтому нами предлагается использование отходов в энергетических целях на ЦОФ «Беловская» в установках низкотемпературного кипящего слоя взамен действующей чешуйчато-цепной решеткой (ЧЦР 4580x800, F=29,1 м<sup>2</sup>, мощностью 5 кВт) в сушильном отделении, в качестве сырья для которой, в настоящее время, используют привозной уголь марки «Г».

Установка с топкой низкотемпературного кипящего слоя позволяет использовать в качестве сырья низкокачественный уголь, а также отходы углеобогащения зольностью до 80 %, влажностью 20-30%, крупностью частиц не более 13 мм (см. рисунок) [5].

Важным преимуществом в топках с кипящим слоем является то, что количество горючего материала составляет обычно небольшую долю от массы слоя, основу его – зола топлива. Интенсивное перемешивание твердых частиц под воздействием сжижающего воздуха, проходящего через слой зернистого материала, обеспечивает повышенный тепло- и массообмен в слое. Погружение в кипящий

слой поверхностей нагрева позволяет поддерживать температуру на таком уровне, при котором не происходит зашлаковки слоя.

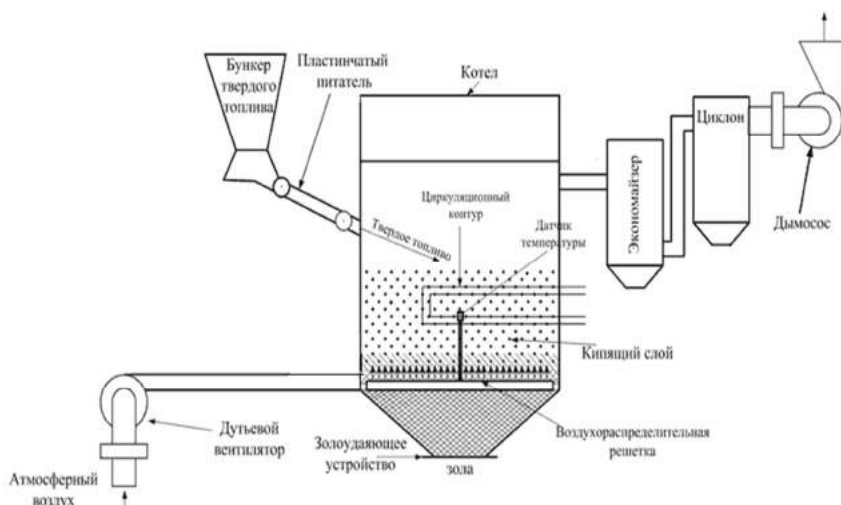


Схема работы котельной установки с топкой низкотемпературного кипящего слоя

Топка низкотемпературного кипящего слоя разработана Уральским политехническим университетом, освоена и выпускается в ОАО «Бийский котельный завод». Базовая комплектация в сборе: топка НТКС 2,61x 2,49, встроенный воздухоподогреватель и двухступенчатый экономайзер БЦ-512-Р-2 (8x6) [6].

#### Список литературы

1. Свечникова Н.Ю., Мамедалина Н.И. Исследование отходов флотационного обогащения угля ЦОФ «Беловская» // Материалы XXVII Студенческой международной научно-практической конференции. Новосибирск: Изд. «СибБАС», 2014. №12(26). С.176-180.
2. Свечникова Н.Ю., Мамедалина Н.И. Анализ исследований в области использования отходов обогащения угля // Молодёжь. Наука. Будущее. Вып.14: сб. науч. тр. студентов / под ред. С.В. Пыхтуновой. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. С. 155-157.
3. Определение химического состава природных и техногенных ресурсов на базе энергодисперсионного рентгеновского спектрометра ARL QUANT'X / Понамарева Т.Б., Шабалин Е.И. и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71 межрегиональной научно-технической конференции / под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. Т.1. С.165-168.
4. Фоменко Т.Г., Кондратенко А.Ф. Отходы флотации и их свойства. М.: Недра, 1977. 125 с.



5. Сжигание угля в кипящем слое и утилизация его отходов / Вискин Ж.В., Шелудченко В.И. и др. Донецк: Типография «Новый мир», 1997. 284 с.
6. Сидоров А.М. АО «Бийскэнергомаш» – сегодня. (НИЦ Бийского котельного завода) // Современное котельное оборудование – экономичность, безопасность и экологичность. Киев: Укртиппроект, 1996. С. 94.

УДК 656.072- 05

**И.В. Чибизова, Е.С. Леванина, Е.Г. Касаткина**

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ**

***Аннотация.** Изучены транспортные отношения, идентифицированы субъект и объекты этих отношений. Рассмотрены основные свойства качества обслуживания пассажиров на общественном транспорте. Подготовлен материал (свойства и показатели) для определения комплексной оценки качества пассажирских перевозок общественным транспортом.*

***Ключевые слова:** транспорт, транспортная услуга, субъект транспортных отношений, качество транспортного обслуживания, оценка качества транспортных перевозок.*

Транспорт является одной из важнейших отраслей народного хозяйства, обеспечивающий жизненно необходимую потребность общества в перевозке пассажиров и грузов. Он представляет собой совокупность средств и путей сообщения, нормальную деятельность которых обеспечивают различные технические устройства и сооружения [5]. По объекту перевозки различают транспорт пассажирский и грузовой. Пассажирский транспорт – часть единой транспортной системы. Современный пассажирский транспорт обеспечивает перевозки людей, их ручной клади и багажа в различных видах сообщения.

В России особое внимание уделяется развитию общественного маршрутизированного транспорта. Сущность задачи на современном этапе его развития сводится к разработке новых методов организации движения пассажирского транспорта на основе автоматизированных систем управления движением; совершенствования традиционных видов городского пассажирского транспорта, включая изменение конструкции подвижного состава и путевых устройств; разработку новых видов маршрутизированного пассажирского транспорта. Характерными чертами современного периода являются: специализация городских улиц и дорог по назначению и виду движения с целью повышения однородности транспортных потоков; системный подход к решению вопросов городской транспортной сети в свете увязки и резервирования линий всех видов городского транспорта; максимальное исключение конфликтных точек и разводка транспортных потоков в разных уровнях; развитие городских скоростных дорог.

Экономическая и социальная роль пассажирского транспорта состоит в оказании услуг по перевозке пассажиров, их ручной клади и багажа путем удовлетворения потребностей людей в перевозках [4]. Таким образом, следует иденти-

фицировать субъекты и объекты транспортных отношений, а также дать определение транспортной услуги.

Транспортная услуга как объект транспортных отношений является результатом деятельности исполнителя транспортной услуги по удовлетворению потребностей пассажира, грузоотправителя и грузополучателя в перевозках в соответствии с установленными нормами и требованиями [3].

Транспортные услуги подразделяют на:

- основные – составляющие суть услуги (перевозка, выполнение посадки и высадки пассажиров, ожидание автобуса и т.п.);

- дополнительные – предоставляющие дополнительные удобства потребителю (наличие прогрессивной системы оплаты, оборудованные остановочные пункты, т.п.);

- особенные – выделяющие исполнителя услуги от конкурентов (предоставление информации о местонахождении автобуса в режиме реального времени, выполнение перевозок по гибким графикам и т.п.) [1].

Субъектов транспортных отношений, в зависимости от цели и результата такого взаимодействия, можно разделить на следующие группы:

- пассажиры, иными словами, прямые потребители транспортной услуги. Далее пассажиров можно подразделить исходя из принадлежности к социальным группам населения: учащиеся, студенты, рабочие, пенсионеры, льготники. Потребности этой группы заключаются в проезде от точки до точки с наименьшими временными и денежными затратами;

- транспортные компании, или прямые поставщики услуги. К этой группе относятся муниципальные, коммерческие и частные предприятия, осуществляющие перевозку людей. Целью этой группы является получение прибыли и привлечение большего процента пассажиров к пользованию того или иного вида транспорта;

- органы исполнительной власти, т.е. координирующие органы, местное самоуправление, администрации городов, министерство дорожного хозяйства и транспорта. Внимание этой группы субъектов направлено на регулирование транспортных отношений между пассажирами и перевозчиками, координацию транспортных компаний по маршрутизации всех районов города, а также финансовой политики стоимости перевозок.

Степень удовлетворения потребности населения в передвижении влияет как на экономику региона, так и на социальные отношения, поэтому большое значение имеет качество пассажирских перевозок. Обеспечение надлежащего качества транспортного обслуживания пассажиров является первоочередной задачей каждого перевозчика пассажирского транспорта. Обязательность предоставления потребителям услуг надлежащего качества установлена Гражданским Кодексом Российской Федерации, Федеральным законом «О защите прав потребителей», Законами РФ «О сертификации продукции и услуг», «О стандартизации» и рядом подзаконных нормативных актов Российской Федерации и ее субъектов.

Под качеством транспортного обслуживания пассажиров понимают совокупность свойств перевозочного процесса и системы перевозок пассажиров, обуславливающих удовлетворение потребностей пассажиров в поездках в соответствии с установленными нормативными требованиями. Свойства перевозочного процесса и системы перевозок определяют объективную особенность уровня

организации и осуществления перевозок пассажиров и проявляются при удовлетворении транспортных потребностей пассажиров. Эти свойства подразделяются на простые и сложные. Последние представляют собой группу простых свойств, объединенных по функциональному признаку. Простые свойства характеризуются показателями качества [2].

Показатель качества – это объективный измеритель степени проявления свойства. В зависимости от степени проявления свойства показатель принимает определенное значение. Норматив показателя качества – это его значение, соответствующее границе двух различных оценок качества (например, хорошо и отлично или неудовлетворительно и удовлетворительно). Различают нормативы предельные и шкальные. Предельные нормативы показателей качества разграничивают оцениваемые объекты на два класса: годен или негоден. Шкальные нормативы устанавливают значения показателей качества, соответствующие различным оценкам (по принципу оценки в баллах). Разновидность предельных нормативов оценки качества – нормативы верхнего и нижнего значений показателей, определяющие условия попадания показателя в установленный интервал значений (см. таблицу).

Структура показателей качества обслуживания пассажиров  
на общественном транспорте

Свойства III уровня	Свойства II уровня	Свойства I уровня	
Доступность	Экономичность	Стабильность стоимости	
		Приемлемость цен	
	Покрываемость территории	Плотность маршрутной сети	
		Наличие и расположение остановочных пунктов	
Ритмичность	Время ожидания		
	Частота движения		
Результативность	Затраты времени на поездку	Время в пути	
	Покрываемость территории	Время простоя (аварии на линии)	
Комфортность	Комфортабельность	Чистота, удобство посадочных мест	
		Обслуживание	
	Наполненность салона	Вместимость салона, количество посадочных мест	
		Отсутствие опасных и вредных факторов	Микроклимат
			Механическое воздействие
	Шум, вибрация		
Информативность	Выбросы в атмосферу, аэрозоли ПФД		
	Наличие расписаний на каждом остановочном пункте		
Надежность	Безопасность проезда	Статистика аварий и поломок	
	Регулярность	Соответствие движения графикам движения	

Под оценкой качества понимают процедуру сравнения фактического уровня значений и показателей с нормативным, выявление расхождений и установление их причин. На основе оценки качества по каждому отдельно взятому показателю (дифференциальной оценки качества) устанавливают общую (комплексную) оценку качества. Оценки качества используют для управления качеством, т.е. для целенаправленного изменения значений показателей в соответствии с установленными нормативами и целями развития транспортной системы [2].

#### Список литературы

1. Горев А.Э., Олещенко Е.М. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения: учеб. пособие для студ. вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2006. С. 137 (256 с.)
2. Пермовский А.А. Пассажирыские перевозки: учеб.-метод. пособие. Н. Новгород: НГПУ, 2011. 164 с.
3. ГОСТ Р 51006 – 96. Услуги транспортные. Термины и определения.
4. Спирин И. В. Транспортное право: учеб. пособие. М.: Транспорт, 2001. 303 с.
5. Шаронова А.А., Осинцев Н.А. Исследование спроса на услуги пассажирского железнодорожного транспорта Челябинской области // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й международной научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2014. Т.1. 305 с.

УДК 621.7

**И.А. Михайловский, Е.И. Гун**

### **ОБЗОР ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БУРТА КОРПУСА ШАРОВОГО ШАРНИРА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СБОРОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ ЗАКАТКОЙ**

**Аннотация.** В данной статье обоснована актуальность разработки математической модели процесса пластической деформации бурта корпуса шаровых шарниров шасси при формировании сборочного соединения закаткой. Дан краткий обзор и анализ возможных подходов к моделированию рассматриваемого процесса методом конечных элементов. В результате проведенного анализа сделан вывод о том, что трехмерное конечно-элементное моделирование процесса является наиболее адекватным и точным при приемлемых временных затратах на расчет.

**Ключевые слова:** пластическое деформирование, закатка, метод конечных элементов.

Объектом исследования являются шаровые опоры подвески и рулевые наконечники автомобиля – основные элементы направляющего устройства подвески и рулевого привода, надежность которых непосредственно влияет на безопасность движения автомобиля.

В настоящее время в подавляющем большинстве случаев конструкция данных изделий подразумевает формирование неразъемного сборочного соединения между корпусом и шайбой путем пластической деформации бурта корпуса [1, 2]. Данная операция является одной из ключевых в формировании качества готового изделия, т.к. технологические параметры данной операции непосредственно влияют на прочность соединения и на другие значимые функциональные показатели шарниров [3–7].

Среди известных процессов пластической деформации бурта наибольшее распространение получила закатка (см. рисунок). На данной операции используется закатная головка, в которой на осях установлены ролики. При вращении закатной головки вокруг вертикальной оси с одновременным ее перемещением по вертикали деформация бурта осуществляется в результате качения по нему роликов.

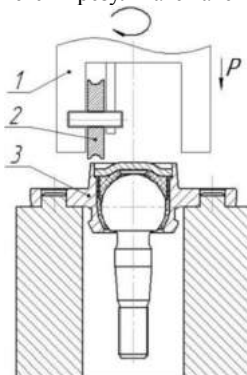


Схема процесса запрессовки шарового шарнира подвески:  
1 – пуансон; 2 – корпус шарнира; 3 – матрица

Процесс может быть охарактеризован стабильностью формируемых показателей качества, повышенной стойкостью инструмента и сниженными энергозатратами. Вместе с этим анализ открытых источников выявил отсутствие работ, посвященных исследованию данного процесса. На практике это приводит к тому, что параметры деформирования на стадии проектирования технологического процесса выбираются экспертно, и это зачастую приводит к необходимости итерационного экспериментального процесса доводки и отладки операции с целью получения рациональных параметров процесса.

В связи с этим актуальной является задача разработки математической модели процесса, позволяющей уже на этапе проектирования операции осуществлять обоснованный выбор её технологических параметров и, тем самым, сокращающей сроки и стоимость наладки операции при освоении новых изделий.

Для исследования процесса нами предлагается ввести понятие прохода, под которым следует процесс деформирования бурта в результате качения по нему ролика при повороте закатной головки на угол, равный угловому шагу расположения роликов.

Возможны следующие подходы к моделированию процесса деформирования:

1. Решение плоской задачи в Лагранжевой постановке метода конечных элементов (МКЭ).

В данном случае процесс закатки может быть рассмотрен как совокупность последовательных операций осадки произвольного осевого сечения бурта в результате вертикального перемещения ролика за один проход. Напряженно-деформированное состояние (НДС) бурта предлагается определять в каждом из его осевых сечений поэтапно – по окончании каждого из проходов в результате реализации метода конечных элементов. Причем в данном случае предполагается использование классической Лагранжевой сетки конечных элементов при моделировании бурта.

Предварительные результаты конечно-элементного моделирования позволяют охарактеризовать данный подход приемлемыми временными затратами на определение НДС инструмента и удовлетворительной адекватностью результатов по усилию закатки. К недостаткам можно отнести недостаточную точность результатов по форме бурта после деформации.

2. Решение плоской задачи в Эйлеровой постановке МКЭ.

В данном случае предлагается рассматривать закатку так же, как совокупность последовательных операций осадки произвольного осевого сечения бурта на величину вертикального перемещения ролика за один проход с той же разницей, что для моделирования бурта предлагается использовать эйлеровую сетку конечных элементов, позволяющую проводить более адекватное моделирование глубоких пластических деформаций.

Предварительные результаты конечно-элементного моделирования выявили существенный недостаток данного подхода, заключающийся в значительных временных затратах на определение НДС инструмента.

3. Объемное моделирование проходов МКЭ.

Поскольку упрощение и сведение задачи к плоской не дало ожидаемой экономии расчетного времени и вместе с тем повлекло с собой потерю адекватности модели, наиболее перспективным является трехмерное конечно-элементное моделирование процесса. Предлагается подход, при котором процесс закатки рассматривается в виде совокупности последовательных проходов сектора бурта, соответствующего по протяженности шагу расположения роликов. Данный подход требует приемлемые временные затраты на определение НДС инструмента и при этом позволит осуществить учет сдвиговых деформаций в объеме бурта.

#### Список литературы

1. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей / Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Куцепендик В.И., Сальников В.В., Гун Е.И., Смирнов А.В., Смирнов А.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 52–57.
2. Анализ существующих способов формирования соединения и основные требования к качеству при сборке шаровых шарниров передней подвески автомобилей / Калмыков Ю.В., Михайловский И.А., Сальников В.В., Пестерев Д.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 4. С. 47–50.

3. Разработка процесса планетарно-поворотной обкатки / Михайловский И.А., Куцендик В.И., Гун Е.И., Гун И.Г., Сальников В.В. // *Металлургические процессы и оборудование*. 2014. №1. С. 39–45.
4. Применение логики антонимов для комплексного анализа качества автомобильного крепежа / Закиров Д.М., Осипов Д.С., Гун И.Г., Сабадаш А.В., Овчинников С.В., Майстренко В.В., Мезин И.Ю. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2010. № 4. С. 57–62.
5. Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев: монография / Гун И.Г. [и др.]. Магнитогорск, 2008.
6. Комплексная оценка результативности сквозных технологий производства с использованием логики антонимов на примере шаровых пальцев / Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Сальников В.В. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2005. Т.1. № 9. С.67-71.
7. Михайловский И.А., Гун Е.И. Разработка методики оценки значимости параметров продукции и технологических операций её производства с точки зрения влияния на качество // *Век качества*. 2014. № 3. С. 32-37.

УДК 669. 292.3 : 669. 054. 82

**Е.С. Махоткина, М.В. Шубина**

### **ИЗВЛЕЧЕНИЕ ТИТАНА ИЗ ШЛАКА ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВ**

***Аннотация.** Рассмотрена возможность извлечения титана из шлака процесса ITmk3. Исследованы реагенты, позволяющие получать растворимые соединения титана в результате спекания с ними шлака и последующего выщелачивания, а также способы выщелачивания шлака кислотами.*

***Ключевые слова:** шлак процесса ITmk3, извлечение титана, выщелачивание, титанаты щелочных металлов, диоксид титана, реагенты для извлечения, химико-термодинамические расчеты, спекание шлака с реагентами.*

Высокие темпы развития металлургии приводят к быстрому истощению запасов традиционного сырья, что заставляет искать возможности использования комплексных руд сложного состава, среди которых важное место занимают широко распространенные титаномагнетиты [1]. В ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) был разработан оригинальный метод прямого восстановления железа из титаномагнетитов и других железосодержащих источников сырья с использованием перспективной металлургической технологии третьего поколения ITmk3. Комплексная переработка шлаков данной технологии – важное направление для повышения эффективности переработки титаномагнетитовых руд.

Целью исследования, проводимого на кафедре ФХиХТ ФГБОУ ВПО «МГТУ», является оценка возможности и целесообразности извлечения из шлака

процесса  $\text{TiO}_2$  всех ценных составляющих. Шлаки, получающиеся при переработке титаномагнетитовых руд, являются перспективным источником получения титанатных продуктов, конкурирующих с рутиловыми и аризонитовыми концентратами и по реакционной способности, и по стоимости [1]. Ранее проведенные исследования показали возможность извлечения ванадия [2, 3]. Однако более перспективным представляется извлечение титана, содержание которого в полученном шлаке составляет 17,0–21,0%.

Уникальные свойства диоксида титана определяют научно-технический прогресс во многих секторах экономики. Россия в результате распада СССР фактически потеряла все заводы по переработке сырья для производства титана и его пигментного диоксида. Отечественная металлургия и химическая технология пока ориентированы на импортируемое сырьё. Таким образом, извлечение титана из рассматриваемых шлаков – актуальная задача.

Предварительный этап исследований включал изучение методов извлечения титана из шлаков, которые можно разделить на две группы: извлечение титана из расплав и в раствор [4–6].

На основании изученного материала, учитывая лабораторные условия и химический состав шлака процесса  $\text{TiO}_2$ , решили использовать сульфатный и серноокислотный способы извлечения титана. Кроме того, учитывалось, что осуществление основных операций по извлечению титана из шлака должно быть экономически целесообразным, происходить с применением стандартного химического технологического оборудования, обеспечивать экологическую безопасность, минимизировать количества образующихся вторичных отходов.

Для рационального извлечения титана из шлаков прямого восстановления титаномагнетитов необходимо выбрать эффективные реагенты извлечения. Серноокислотная технология предусматривает извлечение титана из сульфатного раствора, поэтому необходимо перевести труднорастворимый рутил (наличие которого возможно в составе шлака) в растворимые сульфаты или в растворимые в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  соединения. На практике это обычно достигается методом сплавления или спекания труднорастворимого соединения с подходящим реагентом и дальнейшим растворением образовавшегося вещества.

Титанаты щелочных металлов растворяются в кислотах, поэтому сначала определили список реагентов, позволяющих получить растворимые соединения титана. Значения изменения энергии Гиббса и энтальпий реакций взаимодействия оксида титана (IV) (рутильной модификации) с выбранными реагентами (табл. 1) показали, что химическое взаимодействие  $\text{TiO}_2$  со щелочами, гидросульфатом и сульфатом аммония термодинамически возможно даже при стандартных условиях. Экзотермический эффект этих реакций означает, что применение данных реагентов энергетически более целесообразно по сравнению с реакцией с карбонатом натрия.

При этом развиваются следующие химические реакции:

- 1)  $\text{TiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Na}_2\text{TiO}_3 + \text{CO}_2$
- 2)  $\text{TiO}_2 + \text{NaOH} = \text{Na}_2\text{TiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 3)  $\text{TiO}_2 + \text{KOH} = \text{K}_2\text{TiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 4)  $2 \text{TiO}_2 + 2 \text{NaHSO}_4 = \text{TiOSO}_4 + \text{Na}_2\text{TiO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$   
 $\text{Na}_2\text{TiO}_3 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{TiOSO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- 5)  $2 \text{TiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = \text{TiOSO}_4 + 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$



Таблица 1

Химико-термодинамические эффекты реакций взаимодействия диоксида титана с некоторыми реагентами

Реагент	$\Delta H_r^+$ , кДж/моль	$\Delta G_r^+$ , кДж/моль
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	91,2	47,6
$\text{NaOH}$	- 79,0	- 81,3
$\text{KOH}$	- 97,9	- 168,9
$\text{NaHSO}_4$	- 124,3	- 106,4
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	- 128,5	- 205,8

Одним из продуктов реакции (5) является аммиак – легколетучее соединение, утилизация которого приведет к необходимости осуществления дополнительных стадий процесса. Вместе с тем гидроксиды калия и натрия недороги, недефицитны и малотоксичны. Таким образом, в качестве реагентов сплавления или спекания эффективнее применять гидросульфаты щелочных металлов и щелочи. Учитывая возможность комплексного извлечение ванадия и титана, в качестве реагента извлечения удобен и карбонат натрия.

В первой серии экспериментов навески шлака обрабатывали растворами 40%-й серной и 1%-й соляной кислот (табл. 2).

Таблица 2

Условия экспериментов в первой серии

Масса навески, г	Условия выщелачивания	Наличие $\text{Ti}^{\text{IV}}$
2,0	раствор – 40% $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; время – 60 мин; температура – 85°C	+
2,0	раствор – 1% $\text{HCl}$ время – 60 мин; температура – 85°C	-

После выщелачивания растворы отфильтровали и провели качественные реакции на обнаружение ионов титана (IV): к нескольким каплям исследуемого раствора добавляли каплю перекиси водорода, при наличии  $\text{Ti}^{\text{IV}}$  появлялось оранжево-желтое окрашивание, вызываемое образованием  $\text{H}_2[\text{TiO}(\text{H}_2\text{O}_2)(\text{SO}_4)]$  (или  $\text{H}_2[\text{Ti}(\text{O}_2)(\text{SO}_4)]$ ). Дополнительным доказательством присутствия титана являлось исчезновение окраски при добавлении  $\text{NaF}$ .

Эксперименты показали, что растворы после выщелачивания серной кислотой содержат ионы титана (IV). В растворах после выщелачивания  $\text{HCl}$  титан не обнаружен.

Вторая серия экспериментов включала операции спекания навесок шлака с выбранными на основе химико-термодинамических расчетов реагентами, выщелачивания и качественного обнаружения ионов титана (IV). Результаты экспериментов (табл. 3) показали возможность извлечения титана в раствор при спекании шлака с соединениями щелочных металлов  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Таблица 3

## Условия экспериментов во второй серии

№	Масса и состав навески	Время, ч	Температура, °С	Масса образца после спекания, г	Наличие ионов $Ti^{IV}$ в растворе
1	2,0 г шлака и 2,0 г NaOH	1,5	330	3,91	+
2	2,0 г шлака и 2,0 г $NaHSO_4$	1,5	330	3,625	+
3	2,0 г шлака и 2,0 г $Na_2CO_3$	1,5	930	н.д.	+

Все эти соединения являются приемлемыми реагентами для извлечения титана в раствор из шлаков технологии прямого восстановления железа.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлена возможность практической реутилизации оксида титана (IV) из шлаков технологии ITmk3 и показано, что титан может быть извлечен либо путем выщелачивания серной кислотой (40%), либо при спекании шлака с реагентами NaOH,  $NaHSO_4$ ,  $Na_2CO_3$ . Термодинамические расчеты и экспериментальные результаты представляют практическую ценность для дальнейшей разработки технологии извлечения титана из шлака процесса ITmk3 и установления факторов, обеспечивающих это извлечение. Предполагаемое в дальнейшем количественное определение извлеченного титана позволит дать сравнительную оценку методам и реагентам извлечения; сделать предварительный вывод о минералогических модификациях диоксида титана в шлаке для определения условий максимально возможной степени извлечения титана.

## Список литературы

1. Садыхов Г.Б. Разработка научных основ и технологии комплексного использования титаномагнетитов с высоким содержанием диоксида титана: дис. ... д-ра техн. наук / ИМЕТ РАН. М., 2001.
2. Махоткина Е.С., Шубина М.В. Извлечение ванадия из шлака процесса ITmk3 // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т.1. С.169–172.
3. Шубина М.В., Махоткина Е.С. Исследование возможности извлечения ванадия из шлаков переработки титаномагнетитов // Теория и технология металлургического производства. 2013. № 1 (13). С. 75–6.
4. Патент 2206630 РФ, МПК C22B 33/00, C22B 37/00 (опубл. 20.03.2003).
5. Патент 2250271 РФ, МПК C22C 35/00, 38/14 (опубл.20.04.2005).
6. Химия и технология редких и рассеянных элементов / под ред. К.А. Большакова. В 2 ч. Ч.II. М.: Высш. шк., 1976. 360 с.

А.О. Коваленко, Е.А. Очкова, З.М. Боброва

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕХОДА НА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

**Аннотация.** В данной работе рассчитано действительное КПД электродвигателя в электромобилях. Проанализирована степень загрязнения каждого вида двигателя и дальнейшая их утилизация по истечению срока эксплуатации. Приведены их достоинства и недостатки. Поставлены задачи, которые предстоит решить перед внедрением электродвигателя в массовое производство.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания (ДВС), электродвигатели, электромобили, электротранспорт.

В настоящее время загрязнения, производимые автомобилями, крайне велики (см. таблицу) [1]. Автомобили на ДВС имеют два вида загрязнений: химические и шумовые. К химическим загрязнениям относятся выбросы монооксида углерода и азота, бензопирена и др. К шумовому загрязнению относится шум работы двигателей, что в дневное и ночное время является негативным воздействием на физическое и психологическое здоровье человека. Однако в настоящее время внедряются новые стандарты топлива и конструкции ДВС для снижения концентрации вредных загрязнений (см. таблицу). Также у современных автомобилей есть трехкомпонентные каталитические нейтрализаторы, которые ликвидируют выброс сажи, СН и NO. Но, к сожалению, в настоящее время данных мер недостаточно. Более того, двигатели многих автомобилей, используемых сейчас, представляют собой конструкцию Евро IV и ниже.

Содержание вредных веществ в отработавших газах, г/км

Конструкция	Бензиновые двигатели				Дизельные двигатели		
	СО	СН	NO <sub>x</sub>	Твердые частицы	СО	СН+NO <sub>x</sub>	Твердые частицы
Евро II (1996)	2,2	0,5 суммарно	-	-	1	0,9	0,1
Евро III (2000)	2,3	0,2	0,15	-	0,64	0,56	0,05
Евро IV (2005)	1	0,1	0,08	-	0,5	0,3	0,025
Евро V (2010)	1	0,075	0,06	0,005	0,5	0,25	0,005

Также ученые установили, что через 10 лет закончится легкодоступная нефть. Нужны альтернативные виды топлива и средства передвижения на замену ДВС. Наиболее вероятный вид транспорта будущего – электромобили. Электромобиль для привода ведущих колес использует электрическую энергию, которая генерируется на электростанциях. Всего существуют шесть основных видов электростанций.

Однако во всем мире электроэнергия преимущественно генерируется на ТЭС – 67% [2]. Из них 40% используют уголь (см. рисунок). Ископаемый уголь содержит вредные тяжелые металлы, такие как ртуть и кадмий, а также в среднем

сжигание одного килограмма этого вида топлива приводит к выделению 2,93 кг. CO<sub>2</sub>. КПД ТЭС в среднем составляет 30–35%.

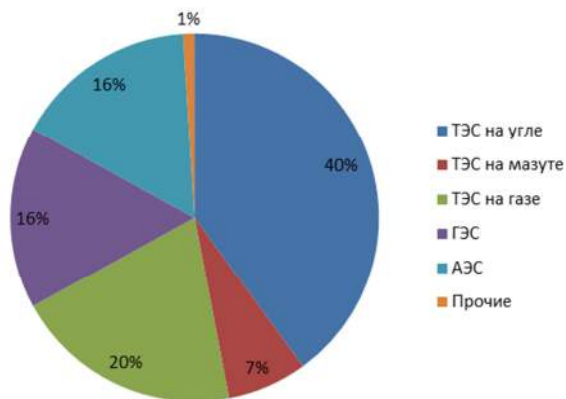


Диаграмма мирового производства электроэнергии

От электростанции электричество передается на повышающий трансформатор для сокращения потерь при передаче электричества через линии электропередач (ЛЭП). КПД трансформатора составляет в среднем 98,5%. Далее ток идет по ЛЭП. КПД в ЛЭП по установленным международным нормам не меньше 90% и в среднем составляет 96%. Однако при осадках, особенно в изморозь, потери резко увеличиваются. После этого электрический ток поступает на понижающий трансформатор, а затем в районную подстанцию. КПД понижающего трансформатора равен КПД районной подстанции и составляет 98,5%. В дальнейшем электрический ток поступает в место подзарядки, где должен будет заряжаться аккумулятор электромашин. КПД зарядки аккумулятора составляет 80%. КПД самого экономичного электродвигателя – 85%.

Рассчитаем КПД электродвигателя с учетом потерь передач энергии от электростанции до электродвигателя:  $KПД = \frac{E_{полезная}}{E_{затраченная}}$ ,

где  $KПД_{конечное} = KПП_1 \cdot KПП_2 \cdot KПП_3 \cdot \dots \cdot KПП_n \cdot 100\%$ ,

$$KПД_{конечное} = 0.325 \cdot 0.985 \cdot 0.96 \cdot 0.985 \cdot 0.985 \cdot 0.80 \cdot 0.85 \cdot 100\% = 20\%.$$

Следовательно, КПД электродвигателя составляет около 20%.

В данном случае мы не учитывали добычу самого угля и его транспортировку на станцию. Поэтому примем эти затраты сопоставимыми с добычей и переработкой нефти, а также доставки топлива на АЭС.

КПД электродвигателя составляет порядка 20%, в отличие от бензинового 30% и тем более дизельного 50%. Также дизельное и бензиновое топливо имеют более высокую удельную теплоту сгорания – 43 и 44 МДж/кг соответственно,

уголь имеет всего лишь 25 МДж/кг. То есть на один килограмм угля производится в два раза меньше энергии, чем при дизеле или бензине.

Следовательно, на данном этапе экономического развития при производстве электроэнергии с использованием угля переход на электромобили энергетически нецелесообразен, так как именно электростанция в большей степени определяет КПД двигателя электромобиля.

Наряду с низким КПД у электромобиля существует проблема утилизации аккумуляторов по истечению срока их эксплуатации. Утилизация никель-кадмиевых аккумуляторов на сегодняшний день не имеет приемлемого с экологической точки зрения решения. Другие аккумуляторы либо взрывоопасны, либо недостаточно энергоёмки. Ведутся исследования по альтернативным видам аккумуляторов, например литий-кобальтовый аккумулятор.

Электромобили имеют огромный потенциал по обеспечению потребностей человечества в экологически чистых средствах передвижения, однако есть ряд проблем, которые в настоящее время не нашли своего решения. Во-первых, необходимо перейти на безвредный способ генерации электроэнергии на электростанциях. Выход из этой проблемы есть – атомная энергетика, однако общественность крайне резко к этому способу получения электричества, не смотря на то, что это экологически чистый и наиболее безопасный способ получения электроэнергии. Во-вторых, нужно найти способ утилизации отработанных аккумуляторов у электромобилей. Рационального способа переработки данных аккумуляторов пока не существует, однако ведутся поиски и разработки их альтернативных видов. В-третьих, долгая зарядка аккумуляторов и низкий пробег электро транспорта – основная причина того, что автомобили на ДВС лидируют на рынке. Использование электромобилей станет возможным только тогда, когда ученым удастся решить эти проблемы, но в настоящий момент времени рекламирование электромобилей является лишь маркетинговым ходом и остается неисполнимой мечтой.

#### Список литературы

1. [http://knowledge.allbest.ru/ecology/3c0a65635a3ad68b4c53b88421316c27\\_0.html](http://knowledge.allbest.ru/ecology/3c0a65635a3ad68b4c53b88421316c27_0.html)
2. [http://www.perspektivy.info/rus/gos/tendencii\\_razvitiia\\_mirovoj\\_elektroenergetiki\\_ch\\_1\\_2013-11-15.htm](http://www.perspektivy.info/rus/gos/tendencii_razvitiia_mirovoj_elektroenergetiki_ch_1_2013-11-15.htm)
3. <http://xn--b1aagbarngqrcrpkeluxe.xn--p1ai/>
4. <http://pravauto.com/obsshaya/diesel.php>
5. <http://cdelau-vce.ru/earth/4440/index.html?page=1>
6. <http://tesla-avtomobil.ru/tehnicheskie-harakteristiki/>
7. Коваленко А.О., Очкова Е.А., Боброва З.М. Анализ возможностей перехода в машинах с двигателями внутреннего сгорания на электродвигатели в современных условиях // Научный взгляд на современное общество: сборник статей Международной научно-практической конференции ОМЕГА САЙНС 2015. С. 152-154.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

<b>Erkan Ay</b> – студ. Karabuk University, Стамбул, Турция. E-mail erkanaycom@gmail.com.....	209
<b>Gökçe Tutlu</b> – студ. Karabuk University, Стамбул, Турция. E-mail gokcetutlu@gmail.com.....	209
<b>Абдрахманова Регина Назымовна</b> – магистрантка ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail reginaabdrakhmanova@ya.ru.....	202
<b>Анцупов Александр Викторович</b> – д-р техн. наук, зав. каф. технологии машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail antsupov.alexander@gmail.com.....	93
<b>Анцупов Алексей Викторович</b> – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail a.antcupov@gmail.com.....	93
<b>Анцупов Виктор Петрович</b> – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail antsupov.vp@gmail.com.....	93
<b>Анцупова Ирина Андреевна</b> – студ. каф. технологии машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)-29-85-19. E-mail irina.antsupova@gmail.com.....	143
<b>Арапова Тамара Михайловна</b> – инженер каф. физической химии и химических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail lab.fxixt@yandex.ru.....	242
<b>Арзамасцева Вероника Айваровна</b> – асп. каф. МГТУ им. Г.И. Носова, машин и технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail palmera@bk.ru.....	90
<b>Афонин Игорь Александрович</b> – ст. преп. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФБГОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. (3519) 29-84-88, 29-84-62. E-mail eco_safe@magtu.ru.....	236
<b>Ахременко Евгений Сергеевич</b> – студ. гр. ГО-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail evgeny7384@gmail.com.....	52
<b>Баладюк Ирина Петровна</b> – студ. гр. КЕ-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail Domino6718@mail.ru.....	97
<b>Барышников Михаил Павлович</b> – канд. техн. наук, профессор каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.....	175
<b>Барышникова Надежда Ивановна</b> – канд. биол. наук, доц., зав. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО	

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail barunya@mail.ru .....	239
<b>Батрашкин Антон Петрович</b> – ПАО НПО Андроидная Техника	83
<b>Безверхий Владимир Сергеевич</b> – аспирант каф. горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	32
<b>Березовский Николай Иванович</b> – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. горных машин Белорусского национального технического университета. E-mail ldbby@yahoo.com.....	206
<b>Бигеев Вахит Абдрашитович</b> – д-р техн. наук, проф., директор института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 29-85-59. E-mail v.bigeev11@yandex.ru .....	101, 104
<b>Боброва Залия Маратовна</b> – канд. хим. наук, доц. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	259
<b>Богданов Алексей Анатольевич</b> – ПАО НПО Андроидная Техника .....	83
<b>Бортновская Любовь Николаевна</b> – ст. гр. ГМ-12 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.....	45
<b>Бурмистров Алексей Иванович</b> – магистрант каф. технологии машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, менеджер по продажам в ИП УралЭнергоРесурс. E-mail melnik-29@mail.ru .....	126
<b>Бурмистров Константин Владимирович</b> – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 7(3519)29-85-56. E-mail burmistrov_kv@mail.ru .....	3
<b>Бурмистрова Евгения Александровна</b> – аспирант каф. технологии машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail melnik-29@mail.ru.....	126
<b>Бурмистрова Ирина Сергеевна</b> – магистрант гр. ГТм-14 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail burmistrova_is@mail.ru.....	3
<b>Быков Николай Борисович</b> – магистр гр. ГТМ-13 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail hoffnungen1@rambler.ru .....	6
<b>Вайскрובה Евгения Сергеевна</b> – канд. техн. наук, доц. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail v_zhenya@mail.ru.....	239
<b>Варжина Кристина Михайловна</b> – студ., магистрант ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. ....	11
<b>Волщук Юри Николаевич</b> – канд. техн. наук, доц., зам. директора по развитию АСУ ЗАО Консом СКС. E-mail px Yuri@gmail.com .....	209

<b>Воронова Наталья Петровна</b> – канд. техн. наук, доц., директор института интегрированных форм обучения и мониторинга образования Белорусского национального технического университета. E-mail iifomoBNTU@bntu.by ....	206
<b>Габбасов Булат Маратович</b> – канд. техн. наук, каф. горных машин и транспортно технологических комплексов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, и.о. доцента. E-mail bulatg74@mail.ru .....	6
<b>Галлямов Денис Эдуардович</b> – асп. каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail gallyamov2010@gmail.com.....	108
<b>Ганин Дмитрий Рудольфович</b> – инженер каф. металлургических технологий Новотроицкого филиала ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет МИСиС. E-mail dmrgan@mail.ru .....	111
<b>Герцберг Ефим Павлович</b> – исп. директор ООО СЕАЛ и К. E-mail gertsberg@slinmet.com.....	184
<b>Гоготин Алексей Анатольевич</b> – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	14, 17
<b>Головей Станислав Игоревич</b> – студ. гр. ГО-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail G@pkmagtu.ru .....	55
<b>Голубчик Эдуард Михайлович</b> – канд. техн. наук, доц., ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail golub66@mail.ru.....	164
<b>Горбунов Владислав Борисович</b> – канд. техн. наук, доц. каф. ЭиРЧМ Национального исследовательского технологического университета МИСиС. E-mail gorbunov@misis.ru .....	133
<b>Горкуша Дмитрий Витальевич</b> – магистрант НИТУ МИСиС, инженер-исследователь ИМЕТ РАН. E-mail (gorkushadmitry@gmail.com) .....	67
<b>Горлова Ольга Евгеньевна</b> – канд. техн. наук, доц. каф. обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail gorlova_o_e@mail.ru .....	20, 27
<b>Григорович Константин Всеволодович</b> – проф., д-р техн. наук, член-корреспондент РАН, зав. каф. МСиФ НИТУ МИСиС, зав. лабораторией диагностики материалов ИМЕТ РАН. E-mail (konstantin.grigorovich@gmail.com).....	67
<b>Губанов Сергей Александрович</b> – магистрант каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail gybanov@inbox.ru .....	116
<b>Губин Алексей Сергеевич</b> – канд. техн. наук, ведущий специалист по ремонту гидрооборудования ЛПЦ-10 ОАО ММК. E-mail gas@mmk.ru .....	143
<b>Гун Евгений Игоревич</b> – асп. каф. технологии, сервиса и сертификации автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8 (3519) 29-84-31. E-mail ура_gun@mail.ru .....	252



<b>Гун Игорь Геннадьевич</b> – д-р техн. наук, проф. каф. технологии, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носов. Тел. 8(3519)298431. E-mail i-gun@yandex.ru .....	225
<b>Гурьянов Геннадий Николаевич</b> – канд. техн. наук, доц., ООО Феникс+. E-mail ggnbelorhome@rambler.ru .....	193
<b>Даутбаев Загир Римович</b> – студ. гр. ГО-12 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail dautbaev94@mail.ru .....	3
<b>Дементьев Роман Дмитриевич</b> – канд. техн. наук, студ. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	17
<b>Демидова Надежда Владимировна</b> – студ. гр. М-13-22 Новотроицкого филиала Национальный исследовательский технологический университет МИСиС. E-mail nadusha555555@mail.ru .....	222
<b>Долматова Ирина Александровна</b> – канд. с.-х. наук, доц. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail dl.alina@rambler.ru .....	212
<b>Дружков Виталий Гаврилович</b> – канд. техн. наук, доц. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.....	111
<b>Егизарьян Денис Константинович</b> – инженер-исследователь лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. E-mail avari@mail.ru .....	168, 184
<b>Елесина Валерия Валерьевна</b> – студ. гр. ТС-10 каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорского государственного технического университета. E-mail Lerik-elerik@mail.ru .....	119
<b>Емельяненко Елена Алексеевна</b> – канд. техн. наук, доц. каф. маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.....	59
<b>Емельянова Маргарита Петровна</b> – студ. гр. МБЖБ-11 ФБГОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. (3519) 29-84-88, 29-84-62. E-mail eco_safe@magtu.ru.....	236
<b>Ефимов Андрей Витальевич</b> – аспирант каф. литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail Unspok@mail.ru .....	86
<b>Ефимова Юлия Юрьевна</b> – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	198
<b>Жевненко Сергей Николаевич</b> – доц. каф. физ. химии НИТУ МИСиС. E-mail zhevnenko@misis.ru .....	228
<b>Железков Олег Сергеевич</b> – д-р техн. наук, проф. каф. теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 29-84-27. E-mail ferumoff@mail.ru.....	76
<b>Железков Олег Сергеевич</b> – д-р техн. наук, профессор каф. теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО Магнитогорский	

государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail ferumoff@mail.ru.....	90
<b>Жиркин Юрий Васильевич</b> – канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail girkin@ya.ru.....	123
<b>Зайцева Татьяна Николаевна</b> – канд. биол. наук, доц. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail tatyananick@mail.ru .....	212
<b>Зяляднов Вадим Юрьевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 7(3519)29-85-56. E-mail zalyadnov@mail.ru .....	3
<b>Захарова Виктория Сергеевна</b> – студ. гр. ТУБ-12 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail vikushaz17@mail.ru.....	216
<b>Зинуров Анвар Вакильевич</b> – канд. техн. наук, исполнительный директор ООО Санарский гранит. E-mail zinurov@sinaï-group.ru .....	52
<b>Иванов Борис Александрович</b> – ген. директор ООО СЕАЛ и К. E-mail berezmon@gmail.com.....	184
<b>Иванова Екатерина Сергеевна</b> – магистрант ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	79
<b>Ивашов Артем Николаевич</b> – канд. техн. наук, аспирант ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	14
<b>Иксанов Марат Рамилевич</b> – магистрант гр. ГНТм-14, ведущий инженер- конструктор ПАО НПО НПО Андрoидная Техника .....	23, 83
<b>Исупов Ю.Д.</b> – инженер-металлург, Санкт-Петербургская электротехническая Компания (СПбЭК) представитель в Нижнем Тагиле. E-mail voir.nt@rambler.ru .....	73
<b>Кадошников Владимир Иванович</b> – канд. техн. наук, проф. каф. проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail kvi -51@mail.ru.....	83, 97
<b>Кадошникова Ирина Дмитриевна</b> – канд. техн. наук, доц. кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail kvi -51@mail.ru.....	97
<b>Калугина Наталья Леонидовна</b> – канд. пед. наук, доц. каф. химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 29-85-33 .....	216
<b>Камадина Светлана Анатольевна</b> – магистрант каф. проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail 79227111780@yandex.ru.....	143
<b>Караулов Николай Геннадьевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО	

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail <a href="mailto:n_karaulov@mail.ru">n_karaulov@mail.ru</a> .....	52, 55
<b>Картунова Светлана Олеговна</b> – ст. преп. каф. маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.....	45
<b>Касаткина Елена Геннадьевна</b> – канд. техн. наук, доц. каф. технологии, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8 (3519) 29-84-31. E-mail <a href="mailto:tssa@magtu.ru">tssa@magtu.ru</a> .....	249
<b>Кашапова Елена Петровна</b> – ст. преп. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых, горный инженер ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)29-85-56. E-mail <a href="mailto:helen-kashapova@mail.ru">helen-kashapova@mail.ru</a> .....	49
<b>Кашин Виктор Васильевич</b> – д-р техн. наук, институт металлургии УрО РАН, г.Екатеринбург. E-mail <a href="mailto:89501928429@mail.ru">89501928429@mail.ru</a> .....	73
<b>Клебан Богдан Николаевич</b> – студ. каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail <a href="mailto:prmpi@magtu.ru">prmpi@magtu.ru</a> .....	41
<b>Клебан Оксана Ивановна</b> – студ. гр. ГФ-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail <a href="mailto:o.kleban@mail.ru">o.kleban@mail.ru</a> .....	27
<b>Коваленко Антон Олегович</b> – студ. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail <a href="mailto:toxaqad@mail.ru">toxaqad@mail.ru</a> .....	259
<b>Колесников Юрий Алексеевич</b> – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 29-84-64, 29-84-49.....	101
<b>Колкова Мария Сергеевна</b> – ведущий инженер-технолог ООО Зибра Рус. E-mail <a href="mailto:sibra115@bk.ru">sibra115@bk.ru</a> .....	20
<b>Кольга Анатолий Дмитриевич</b> – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. (3519) 29-85-45. E-mail <a href="mailto:kad-55@magtu.ru">kad-55@magtu.ru</a> .....	32
<b>Комолова Ольга Александровна</b> – канд. техн. наук, ученый секретарь каф. МСиФ НИТУ МИСиС. E-mail ( <a href="mailto:o.a.komolova@gmail.com">o.a.komolova@gmail.com</a> ) .....	67
<b>Коптелова Оксана Сергеевна</b> – студ. гр. КЕ-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail <a href="mailto:kia-208@mail.ru">kia-208@mail.ru</a> .....	137
<b>Копцева Наталья Васильевна</b> – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	198
<b>Корнеев Сергей Александрович</b> – канд. техн. наук, доц. каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail <a href="mailto:korneev-1977@bk.ru">korneev-1977@bk.ru</a> .....	41

<b>Корнилов Сергей Николаевич</b> – д-р техн. наук, доц. каф. промышленного транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298534 .....	11
<b>Костюкевич Елена Казимировна</b> – канд. техн. наук, доц., зам. директора института интегрированных форм обучения и мониторинга образования белорусского национального технического университета. E-mail khelenek@tut.by.....	206
<b>Красноперов Дмитрий Александрович</b> – магистрант каф. технологии машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Инженер-конструктор ООО Завод СтропКомплект. E-mail d.n.krasnoperov@mail.ru .....	126
<b>Красноперова Ирина Александровна</b> – магистрант каф. технологии машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail irikasan@mail.ru.....	126
<b>Крестьянинов Андрей Александрович</b> – студ. ГФ-10 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail krestyaninov92@bk.ru .....	20
<b>Кузьмин Дмитрий Владимирович</b> – ассист. каф. логистики и управления транспортными системами Московского государственного университета путей сообщения.....	35
<b>Кулакова Анна Евгеньевна</b> – студ. гр. ТС-10 каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорского государственного технического университета. E-mail anna.kulakova.1993@mail.ru .....	119
<b>Кургузов Сергей Анатольевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. технологии машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail ksaask@mail.ru.....	126
<b>Кусяков Данис Расихович</b> – студ. гр. ГО-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail kussyak@mail.ru .....	55
<b>Кутлубаев Ильдар Мухаметович</b> – д-р техн. наук, профессор каф. ГМиТТК ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	23
<b>Левандовский Сергей Анатольевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 29-85-25. E-mail levandovskiy@mail.ru.....	147, 187
<b>Леванина Елена Сергеевна</b> – магистрант гр. ТСМм-14 каф. технологии, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail lena-levanina@rambler.ru .....	249
<b>Леонтьева Елена Вячеславовна</b> – асп. каф. химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, ст. эксперт МО ЭКЦ ГУ МВД РФ по Челябинской обл., г. Магнитогорск. E-mail lena.leontyeva.64@mail.ru .....	219
<b>Лисенков Евгений Александрович</b> – ст. гр. ГВ-12. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail Nelson-2015@mail.ru .....	49

<b>Лисовский Денис Андреевич</b> – студ. гр. ГТм-13 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	38
<b>Лобанов Даниил Андреевич</b> – стажер-исследователь лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. E-mail summerdanny@yandex.ru .....	168
<b>Локотунина Наталья Михайловна</b> – канд. техн. наук, доц. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорского государственного технического университета. E-mail nml@mgn.ru .....	119
<b>Лукьянова Ксения Сергеевна</b> – асп. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail azzazel90@mail.ru .....	164
<b>Ляшева Юлия Сергеевна</b> – магистрант ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail lyasheva80@gmail.com .....	70
<b>Мажитов Артур Маратович</b> – канд. техн. наук, ассистент каф. подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail artur.mazhitov@yandex.ru .....	41
<b>Малаканов Сергей Александрович</b> – канд. техн. наук, ст. преп. каф. теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 29-84-27. E-mail samalakanov@mail.ru .....	76
<b>Малашкин Сергей Олегович</b> – асп. каф. литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail malashckin.serzh@yandex.ru .....	155
<b>Мальцева Елена Владимировна</b> – ст. преп. каф. маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Носова.....	59
<b>Мамедалина Надежда Ивановна</b> – студ. гр. МХТб-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail mamedalina@mail.ru .....	246
<b>Марочкин Олег Александрович</b> – соискатель ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail m_a_r_chel74@mail.ru .....	70
<b>Маршук Лариса Александровна</b> – науч. сотр. лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. E-mail ferro@ural.ru .....	168, 184
<b>Махоткина Елена Станиславовна</b> – канд. техн. наук, доц. каф. физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 29-84-25 .....	255
<b>Медяник Надежда Леонидовна</b> – д-р техн. наук, проф. каф. химии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	219
<b>Миникаев Самат Ринатович</b> – студент института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	161

<b>Михайловский Игорь Александрович</b> – д-р техн. наук, проф., доц. каф. технологии, сервиса и сертификации автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел. 8 (3519) 29-84-31. E-mail i-mikhailovsky@yandex.ru .....	252
<b>Михеенков Михаил Аркадьевич</b> – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. E-mail silast@mail.ru.....	168, 184
<b>Мишурова Елена Николаевна</b> – лаборант ОАО ММК-Метиз. E-mail en_mishurova@mail.ru .....	129
<b>Моллер Александр Борисович</b> – д-р техн. наук, профессор каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail amoller@mail.ru.....	147
<b>Мухаметзянов Ильдар Шамилович</b> – аспирант каф. теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail ildarik-777@mail.ru .....	76
<b>Некрасов Илья Владимирович</b> – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. E-mail ivn84@bk.ru.....	168, 184
<b>Нефедова Евгения Викторовна</b> – канд. пед. наук, доц. каф. математики и естествознания Новотроицкого филиала Национальный исследовательский технологический университет МИСиС. E-mail russkisever@rambler.ru .....	222
<b>Николаев Алексей Олегович</b> – асп. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail Nikolaev.ao.magtu@gmail.com .....	104
<b>Овсянников Максим Павлович</b> – студ. гр. ГО-11 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail mkselestro@gmail.com .....	52
<b>Овчинникова Елена Владимировна</b> – асп. каф. ЭиРЧМ Национального исследовательского технологического университета МИСиС. E-mail elenka.ov4innikova@yandex.ru .....	133
<b>Овчинникова Любовь Андреевна</b> – канд. хим. наук, ст. науч. сотр. лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. E-mail imetOLA @yandex.ru .....	168, 184
<b>Орехова Наталья Николаевна</b> – д-р техн. наук каф. обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail n_orehova@mail.ru.....	27
<b>Осинцев Никита Анатольевич</b> – доц. каф. промышленного транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 29-85-16. E-mail osintsev@magtu.ru .....	63
<b>Очкова Екатерина Александровна</b> – студ. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail gumm73@mail.ru .....	259
<b>Панфилова Ольга Рашидовна</b> – канд. техн. наук, доц. каф. ГМиТТК ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail halikova@inbox.ru .....	23

<b>Панычев Анатолий Алексеевич</b> – канд. техн. наук, кафедра металлургических технологий Новотроицкий филиал ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет МИСиС .....	111
<b>Пергамент Владимир Хаимович</b> – ст. науч. сотрудник лаборатории сейсмики и звукометрических методов исследования взрывных работ (кафедра подземной разработки месторождений полезных ископаемых) ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail pergament@magtu.ru .....	55
<b>Платов Сергей Иосифович</b> – д-р техн. наук, профессор каф. машин и технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail psipsi@mail.ru .....	193
<b>Пожидаев Юрий Александрович</b> – ассист. каф. проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail yoran74@rambler.ru .....	137
<b>Пожидаева Евгения Борисовна</b> – асп. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail azazel_13@mail.ru .....	140
<b>Понамарева Татьяна Борисовна</b> – инженер-лаборант каф. физической химии и химических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail tatjana.ponamareva@yandex.ru .....	242
<b>Проценко Павел Валерьевич</b> – канд. хим. наук, ведущий науч. сотр. каф. коллоидной химии МГУ. E-mail protsenko@colloid.chem.msu.ru .....	228
<b>Пузик Екатерина Александровна</b> – магистр ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail ekshalimova@mail.ru .....	123
<b>Пыгалев Иван Алексеевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail vehicle@list.ru .....	52
<b>Романько Елена Александровна</b> – канд. техн. наук, доц. каф. маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	45
<b>Рубин Геннадий Шмульевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. технологии, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail rubingsh@gmail.com .....	164, 202
<b>Рузанов Владимир Васильевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. машин и обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	193
<b>Румянцев Михаил Игоревич</b> – канд. техн. наук, проф. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail mihigrum@mail.ru .....	171

- Русанов Владимир Андреевич** – канд. техн. наук, ст. преп. ФГБОУ ВПО  
Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова. E-mail volody-74mgn@mail.ru..... 93, 143
- Рябова Вера Федоровна** – ст. преп. каф. стандартизации, сертификации и  
технологии продуктов питания ФГБОУ ВПО Магнитогорский  
государственный технический университет им. Г.И. Носова.  
E-mail mad\_eln@mail.ru ..... 212, 239
- Савельева Раиса Николаевна** – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВПО  
Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова. E-mail sav-r46@yandex.ru..... 79
- Салганик Виктор Матвеевич** – д-р техн. наук, зав. каф. обработки металлов  
давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)-29-85-25.  
E-mail chikishev\_denis@mail.ru ..... 140
- Самуйлов Сергей Дмитриевич** – канд. техн. наук, Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г.С-Петербург.  
E-mail sam.mhd.ioffe@gmail.com ..... 73
- Саранча Сергей Юрьевич** – асп. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ  
ВПО Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова. E-mail science.mgn@gmail.com..... 147
- Свечникова Наталья Юрьевна** – каед. техн. наук, доц. каф. физической химии  
и химической технологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова.  
E-mail natasha-svechnikova@yandex.ru ..... 246
- Сергеев Дмитрий Станиславович** – аспирант института металлургии,  
машиностроения, и материалообработки ФГБОУ ВПО Магнитогорский  
государственный технический университет им. Г.И. Носова.  
Тел. 8(3519) 30-75-19. E-mail dixord@mail.ru ..... 101
- Сибгатуллина Маргарита Ильдаровна** – студентка факультета  
стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский  
государственный технический университет им. Г.И. Носова ..... 161
- Сидоров Максим Вадимович** – магистрант института металлургии,  
машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО Магнитогорский  
государственный технический университет им. Г.И. Носова ..... 161
- Симонов Павел Семенович** – канд. техн. наук, доц. каф. открытой разработки  
месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО Магнитогорский  
государственный технический университет им. Г.И. Носова.  
Тел. 8(3519)29-85-56. E-mail rgrpv-mg@mail.ru ..... 49
- Слободянский Михаил Геннадьевич** – канд. техн. наук, ст. преп. ФГБОУ ВПО  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.  
Тел. 8(3519) 298507. E-mail momz-magtu@yandex.ru ..... 93
- Смирнов Алексей Вячеславович** – асп. каф. технологии, сертификации и  
сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носов. E-mail alexey.smimov@belmag.ru .... 225
- Смирнов Андрей Николаевич** – д-р физ.-мат. наук, зав. каф. физической химии  
и химической технологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный



технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)298578. E-mail sman@magtu.ru .....	228
<b>Соловьёв Александр Геннадьевич</b> – канд. техн. наук, доц., зам. ген. дир. по производству и коммерции ОАО Магнитогорский Гипромез. E-mail sag71mgn@yandex.ru .....	151
<b>Степанов Павел Александрович</b> – асп. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail stekgroup@mail.ru .....	116
<b>Столяров Александр Михайлович</b> – д-р техн. наук, проф. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 298449. E-mail mcm@magtu.ru ....	179
<b>Сычков Александр Борисович</b> – д-р техн. наук, профессор каф. литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail absychkov@mail.ru .....	155
<b>Телегин Вячеслав Евгеньевич</b> – канд. техн. наук, начальник научно- технического центра ОАО Магнитогорский металлургический комбинат. E-mail ispanec024@yandex.ru .....	164
<b>Тесля Марина Александровна</b> – магистрант МПТм-13 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	123
<b>Тимошенко Вадим Александрович</b> – науч. сотр. каф. коллоидной химии МГУ .....	228
<b>Троицкий Олег Александрович</b> – д-р техн. наук, институт машиноведения им. А.А.Благоднарова РАН, г.Москва. E-mail oatroitsky@rambler.ru .....	73
<b>Усанов Михаил Юрьевич</b> – ст. преп. каф. металлургии и стандартизации филиала ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова в г. Белорецке. E-mail barracuda_m@mail.ru ....	158
<b>Фаткабраров Юнир Адисович</b> – студ. гр. ГМ-10-1 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	59
<b>Харитонов Вениамин Александрович</b> – канд. техн. наук, профессор каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8 (3519) 29-84-81 .....	108, 158
<b>Харченко Елена Олеговна</b> – асп. института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	161
<b>Хатуев Руслан Алиханович</b> – магистрант 2 курса каф. промышленного транспорта ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.....	63
<b>Царев Николай Сергеевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. водного хозяйства и технологии воды строительного института ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. E-mail nstzar@mail.ru .....	232
<b>Царенко Ксения Сергеевна</b> – студ. гр. ТПД-10 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	175

<b>Чернов Виктор Петрович</b> – д-р техн. наук, профессор каф. литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	86
<b>Чернов Данил Валентинович</b> – инженер-технолог ООО Зибра Рус. E-mail sibra123@bk.ru .....	20
<b>Чибизова Ирина Владимировна</b> – магистрант гр. ТСМм-14 каф. технологии, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. E-mail chibizova91@mail.ru .....	249
<b>Чишкишев Денис Николаевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail chikishev_denis@mail.ru.....	116
<b>Чишкишев Денис Николаевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519)-29-85-25. E-mailchikishev_denis@mail.ru .....	140
<b>Чукин Дмитрий Михайлович</b> – асп. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	198
<b>Чукин Михаил Витальевич</b> – д-р техн. наук, профессор, Первый проректор - проректор по научной и инновационной работе, зав. каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail m.chukin@mail.ru.....	164
<b>Шаповалов Алексей Николаевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. металлургических технологий ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, Новотроицкий филиал. E-mail alshapo@yandex.ru.....	111, 133, 179
<b>Швейкина Юлия Григорьевна</b> – канд. техн. наук, студ. ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова	14
<b>Шевченко Евгений Александрович</b> – асп. каф. металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 298449. E-mail nfmisis-nis@yandex.ru.....	179
<b>Шешуков Олег Юрьевич</b> – д-р техн. наук, зав. лабораторией пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. E-mail ferro1960@mail.ru.....	168, 184
<b>Шитов Михаил Викторович</b> – инженер III-й категории ОАО Магнитогорский Гипромез. E-mail mihailschitov@mail.ru .....	151
<b>Шубин Игорь Геннадьевич</b> – канд. техн. наук, доц. каф. машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 29-85-12. E-mail shubin64@mail.ru .....	187
<b>Шубина Марианна Вячеславовна</b> – канд. техн. наук, доц. каф. физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 29-84-25. E-mail shubina_mar@mail.ru .....	255
<b>Шубина Наталья Игоревна</b> – асп. каф. обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. 8(3519) 29-85-12. E-mail natalia-shubin91@mail.ru.....	187

<b>Щеголева Екатерина Анатольевна</b> – асп., инженер-исследователь ООО НТПФ Эталон. E-mail kate15.90@mail.ru .....	189
<b>Юдина Светлана Владимировна</b> – ст. преп. каф. физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail yudinasv1478@mail.ru.....	246
<b>Юдкин Владимир Федорович</b> – канд. техн. наук, Институт машиноведения им. А.А. Благодирова РАН, г. Москва .....	73
<b>Юркова Екатерина Владимировна</b> – ведущий специалист ОАО ММК-Метиз. E-mail en_mishurova@mail.ru .....	129
<b>Якунина Ирина Владимировна</b> – магистрант, уч. мастер каф. технологии машиностроения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail iryak.82@mail.ru .....	126
<b>Якшина Виктория Владимировна</b> – студ. гр. ГО-12 ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail shakira-viktoriya@mail.ru.....	3
<b>Яркеев Айвар Равилевич</b> – аспирант ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова .....	17
<b>Ярославцева Ксения Казбековна</b> – ассист. каф. машин и обработки давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. E-mail ksy-magnitka @yandex.ru.....	193

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА

<b>К.В. Бурмистров, В.Ю. Заляднов, В.В. Якшина, З.Р. Даутбаев, И.С. Бурмистрова</b> Современные тенденции разработки угольных месторождений .....	3
<b>Н.Б. Быков, Б.М. Габбасов</b> Повышение ресурса узлов и элементов буровых установок и корректировка существующих регламентов ТООР.....	6
<b>К.М. Варжина, С.Н. Корнилов</b> Разработка методики адаптации путевого развития грузовых станций ОАО «РЖД» к существующим и перспективным вагонопотокам.....	11
<b>А.А. Гоготин, А.Н. Ивашов, Ю.Г. Швейкина</b> Методика расчета максимального количества блоков при освоении наклонных и крутопадающих рудных месторождений подземным способом.....	14
<b>А.А. Гоготин, А.Р. Яркеев, Р.Д. Дементьев</b> Обоснование параметров приконтурных запасов и способов выдачи рудной массы, обрабатываемых на стадии строительства подземного рудника .....	17
<b>М.С. Колкова, О.Е. Горлова, Д.В. Чернов, А.А. Крестьянинов</b> Применение высокочастотного тонкого грохочения при переработке минерального сырья.....	20
<b>М.Р. Иксанов, И.М. Кутлубаев, О.Р. Панфилова</b> Разработка схемы построения и методики расчета транспортирующего модуля антропоморфного манипулятора с двумя степенями свободы .....	23
<b>Н.Н. Орехова, О.Е. Горлова, О.И. Клебан</b> Проблемы и решения переработки тонкодисперсного техногенного цинкодержащего сырья.....	27
<b>В.С. Безверхий, А.Д. Кольга</b> Предохранительная гидравлическая муфта с регулируемым крутящим моментом .....	32
<b>Д.В. Кузьмин</b> Совершенствование организации региональной сети контейлерных терминалов .....	35
<b>Д.А. Лисовский</b> Параметры и показатели системы доставки легковых автомобилей от заводов-изготовителей до региональных дилеров .....	38
<b>А.М. Мажитов, С.А. Корнеев, Б.Н. Клебан</b> Определение физико-механических свойств пород Камаганского месторождения и оценка их удароопасности .....	41

<b>С.О. Каргунова, Е.А. Романько, Л.Н. Бортновская</b> Противооползневые мероприятия для месторождения «Подотвальное» ГОП ОАО «ММК» .....	45
<b>П.С. Симонов, Е.П. Кашапова, Е.А. Лисенков</b> Исследование энергоемкости разрушения бетона ударом падающего груза .....	49
<b>Н.Г. Караулов, И.А. Пыгалева, Е.С. Ахременко, М.П. Овсянников, А.В. Зинуров</b> Снижение затрат на подготовку блоков к выемке при разработке центрального участка Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов.....	52
<b>В.Х. Пергамент, Н.Г. Караулов, С.И. Головей, Д.Р. Кусяков</b> Определение скорости движения потоков базальтовых лав на малых уклонах ...	55
<b>Ю.А. Фаткабраров, Е.А. Емельяненко, Е.В. Мальцева</b> Горнотехнические условия эксплуатации и маркшейдерские работы на Хайдарканском подземном руднике.....	59
<b>Р.А. Хатуев, Н.А. Осинцев</b> Выбор системы доставки грузов в универсальных контейнерах в автомобильно-железнодорожном сообщении .....	63
<b>ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛОБРАБОТКИ</b>	
<b>Д.В. Горкуша, О.А. Комолова, К.В. Григорович</b> Анализ технологии выплавки и внепечной обработки стали класса IF для условий ОАО «ММК» .....	67
<b>Ю.С. Ляшева, О.А. Марочкин</b> Развитие методов расчета и создание элементов сортовой МНЛЗ.....	70
<b>О.А. Троицкий, С.Д. Самуйлов, В.Ф. Юдкин, В.В. Кашин, Ю.Д. Исупов</b> Технология деванадации чугуна с присадкой содержащих окислы бромидов на основе стальной стружки.....	73
<b>О.С. Железков, И.Ш. Мухаметзянов, С.А. Малаканов</b> Совершенствование процесса волочения проволоки трапециевидного сечения .	76
<b>Р.Н. Савельева, Е.С. Иванова</b> Исследование и повышение долговечности оборудования привода валков черновой клетки «ДУО» стана 2500 горячей прокатки ОАО «ММК».....	79
<b>А.П. Батрашкин, В.И. Кадошников, А.А. Богданов, М.Р. Иксанов</b> Активный силовой экзоскелетный комплекс .....	83

<b>А.В. Ефимов, В.П. Чернов</b> Термовременная обработка стальных отливок.....	86
<b>О.С. Железков, В.А. Арзамасцева</b> Моделирование процесса гибки вращающимся инструментом.....	90
<b>А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов</b> Модель длительной прочности деталей машин .....	93
<b>В.И. Кадошников, И.Д. Кадошникова, И.П. Баландюк</b> Моделирование процесса нанесения покрытия механическим способом по средствам САПР .....	97
<b>В.А. Бигеев, Ю.А. Колесников, Д.С. Сергеев</b> Метод моделирования процесса выплавки стали в конвертере с использованием производственных данных .....	101
<b>В.А. Бигеев, А.О. Николаев</b> Разработка математической модели изменения содержания водорода в стали конвертерного производства.....	104
<b>Д.Э. Галлямов, В.А. Харитонов</b> Повышение конкурентоспособности проволоки на основе комбинирования способов ОМД.....	108
<b>Д.Р. Ганин, В.Г. Дружков, А.А. Панычев, А.Н. Шаповалов</b> Исследование процесса окомкования агломерационной шихты в ОАО «Уральская сталь» .....	111
<b>С.А. Губанов, Д.Н. Чикишев, П.А. Стеканов</b> Оценка влияния интенсивности ускоренного контролируемого охлаждения на комплекс механических свойств трубной стали категории прочности X80.....	116
<b>В.В. Елесина, А.Е. Кулакова, Н.М. Локотунина</b> Пути повышения качества профилей высокой жесткости, производимых в условиях ОАО «ММК».....	119
<b>Ю.В. Жиркин, М.А. Тесля, Е.А. Пузик</b> Оценка эффективности технического обслуживания подшипниковых опор тянущих роликов клетей «Кварто» при применении минеральных масел различных классов вязкости .....	123
<b>С.А. Кургузов, И.В. Якунина, Д.Н. Красноперов, И.А. Красноперова, Е.А. Бурмистрова, А.И. Бурмистров</b> Формирование рациональной шероховатости рабочей поверхности штампового разделительного инструмента.....	126
<b>Е.Н. Мишурова, Е.В. Юркова</b> Моделирование процесса штамповки для оценки работоспособности штампа.	129

<b>Е.В. Овчинникова, В.Б. Горбунов, А.Н. Шаповалов</b> Эффективность применения бакальских сидеритов при производстве магнезиального агломерата в условиях ОАО «Уральская сталь».....	133
<b>Ю.А. Пожидаев, О.С. Коптелова</b> Проектирование и расчет валов средствами САПР .....	137
<b>Е.Б. Пожидаева, Д.Н. Чикишев, В.М. Салганик</b> Модельное представление участка трубы большого диаметра, испытывающего сложное динамическое нагружение .....	140
<b>В.А. Русанов, А.С. Губин, С.А. Камадина, И.А. Анцупова</b> Обеспечение надежности привода энкопанелей системы экранирования горячекатаных полос .....	143
<b>С.Ю. Саранча, С.А. Левандовский, А.Б. Моллер</b> Поэтапное внедрение ИТ в условиях сортопрокатного производства: спираль качества Джурана как непрерывный процесс повышения эффективности выпуска продукции .....	147
<b>А.Г. Соловьёв, М.В. Шитов</b> Комплексная оценка редуцирующего оборудования в технологической системе МНЛЗ-ШСГП .....	151
<b>А.Б. Сычков, С.О. Малашкин</b> Термическая обработка катанки при двустадийном охлаждении.....	155
<b>М.Ю. Усанов, В.А. Харитонов</b> Теория и практика применения радиально-сдвиговой протяжки проволоки различного назначения .....	158
<b>Е.О. Харченко, М.В. Сидоров, М.И. Сибатуллина, С.Р. Миникаев</b> Выявление рационального режима загрузки кокса мелких фракций в шихтовый бункер БЗУ .....	161
<b>М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Г.Ш. Рубин, К.С. Лукьянова, В.Е. Телегин</b> Исследование возможности управления шероховатостью поверхности горячекатаной травленной ленты .....	164
<b>М.А. Михеенков, О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, Д.К. Егизарьян, Л.А. Овчинникова, Д.А. Лобанов, Л.А. Маршук</b> Изучение влияния фазового состава рафинировочного шлака на стойкость футеровки агрегата «ковш-печь».....	168
<b>М.И. Румянцев</b> Построение модели для расчета напряжения текучести при автоматизированном проектировании режимов горячей прокатки.....	171
<b>М.П. Барышников, К.С. Царенко</b> Разработка технологии нанесения полимерных покрытий на длинномерные стальные изделия методом экструзии в условиях ООО «Уралпрокат» .....	175

<b>Е.А. Шевченко, А.М. Столяров, А.Н. Шаповалов</b> Определение рациональной длины поддерживающей системы узких граней непрерывнолитых слябов в условиях ОАО «Уральская сталь».....	179
<b>О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, М.А. Михеенков, Д.К. Егизарьян, Л.А. Овчинникова, Б.А. Иванов, Е.П. Герцберг, Л.А. Маршук</b> Опыт использования отходов производства вторичного алюминия при выплавке стали.....	184
<b>И.Г. Шубин, С.А. Левандовский, Н.И. Шубина</b> Оценка влияния геометрии чистовых калибров на качество сортовых профилей простой формы .....	187
<b>Е.А. Щеголева</b> Разработка СВС-технологии производства азотированных лигатур на основе марганца .....	189
<b>Г.Н. Гурьянов, С.И. Платов, В.В. Рузанов, К.К. Ярославцева</b> Влияние интенсивности упрочнения материала проволоки и угла волочения на степень снижения радиальной силы на волоку от действия противонапряжения .....	193
<b>Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, Д.М. Чукин</b> Влияние термической обработки и свойства высокопрочных углеродосодержащих инварных сплавов с минимальным коэффициентом теплового расширения.....	198

#### **ФАКУЛЬТЕТ СТАНДАРТИЗАЦИИ, ХИМИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ**

<b>Г.Ш. Рубин, Р.Н. Абдрахманова</b> Исследование S-образных моделей динамики технических систем.....	202
<b>Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич</b> Перспективы использования топливосодержащих отходов при производстве пористых строительных материалов .....	206
<b>Ю.Н. Волщук, Gökçe Tutlu, Erkan Ay</b> Интеграция информационных систем на базе Talend Software.....	209
<b>И.А. Долматова, Т.Н. Зайцева, В.Ф. Рябова</b> Управление качеством в организации школьного питания.....	212
<b>Н.Л. Калугина, В.С. Захарова</b> Применение метода автоклавного окисления для извлечения благородных металлов.....	216
<b>Е.В. Леонтьева, Н.Л. Медяник</b> Применение производных гуанидина для извлечения золота.....	219



<b>Е.В. Нефедова, Н.В. Демидова</b> Исследование поверхностных вод г. Новотроицка на содержание хрома (VI) и хрома (III) .....	222
<b>Ал.В. Смирнов, И.Г. Гун</b> Применение ультразвукового прессования для создания неразъемных соединений в шаровых шарнирах стоек стабилизатора .....	225
<b>С.Н. Жевненко, П.В. Проценко, А.Н. Смирнов, В.А. Тимошенко</b> Взаимодействие многослойного композиционного материала Cu –Nb с насыщенными раплавами свинца .....	228
<b>Н.С. Царев</b> Механическое обезвоживание осадков производственных сточных вод комбинатов черной металлургии .....	232
<b>И.А. Афонин, М.П. Емельянова</b> Миграция свинца и его соединений в почву и грунтовые воды из промышленных и бытовых электротехнических отходов .....	236
<b>Н.И. Барышникова, Е.С. Вайскрובה, В.Ф. Рябова</b> Управление качеством на предприятиях общественного питания .....	239
<b>Т.Б. Понамарева, Т.М. Арапова</b> Разработка методики измерения массовых долей компонентов в магнезите рентгеноспектральным методом .....	242
<b>Н.И. Мамедалина, Н.Ю. Свечникова, С.В. Юдина</b> Использования отходов флотации в энергетических целях на ЦОФ «Беловская» .....	246
<b>И.В. Чибизова, Е.С. Леванина, Е.Г. Касаткина</b> Оценка качества пассажирских перевозок общественным транспортом .....	249
<b>И.А. Михайловский, Е.И. Гун</b> Обзор подходов к моделированию деформирования бурта корпуса шарового шарнира при формировании сборочного соединения закаткой .....	252
<b>Е.С. Махоткина, М.В. Шубина</b> Извлечение титана из шлака процесса прямого восстановления титаномагнетитов .....	255
<b>А.О. Коваленко, Е.А. Очкова, З.М. Боброва</b> Исследование возможностей перехода на электродвигатели в современных условиях .....	259
<b>Сведения об авторах</b> .....	262

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ  
НАУКИ, ТЕХНИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ**

**Материалы 73-й международной  
научно-технической конференции**

Том 1

Под редакцией В.М. Колокольцева

Редакторы Н.В. Кутекина, Н.П. Боярова  
Оператор компьютерной верстки Е.А. Назарова

Подписано в печать 07.09.2015. Рег. № 242-14. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.  
Плоская печать. Усл.печ.л. 17,75. Тираж 100 экз. Заказ 589.



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38  
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»