

Негосударственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Камский институт гуманитарных и инженерных технологий»



ВЕСТНИК КИГИТ

СЕРИЯ 2. Технические науки: инновационные
технологии в машиностроении и энергетике

№ 02 (44) • 2014

Ижевск 2014

ББК 60
УДК 378

Редакционный совет: председатель – докт. техн. наук, проф., академик **Никулин В.А.**; зам. председателя – канд. экон. наук, PhD, доцент, канд. экон. наук, академик РИА **Дегтева О.А.**; докт. техн. наук, профессор **Митюков Н.В.**

Ответственный редактор серии: проф., докт. техн. наук, академик РИА и МИА, Почетный работник науки и техники РФ, Зам. председателя Высшего инженерного совета России **Никулин В.А.**

Члены совета: докт. техн. наук, проф., чл.-корр. РАН **Гусев Б.В.**; канд. техн. наук, академик МИА **Фомин П.М.**; докт. техн. наук, ст.н.с., чл.-корр. РИА **Толстых А.В.**; докт. техн. наук, проф., чл.-корр. РАН, академик РИА **Григорьев Б.А.**; докт. техн. наук, профессор **Касаткин В.В.**; докт. техн. наук, профессор **Сенилов М.А.**; докт. экон. наук, профессор **Павлов К.В.**; докт. техн. наук **Спирidonов С.В.**

Рецензенты: Российская инженерная академия (РИА); Удмуртское отделение Российской инженерной академии.

Вестник КИГИТ: СЕРИЯ 2. Технические науки: инновационные технологии в машиностроении и энергетике. Ижевск: Издательство КИГИТ, 2014. 82 с.

ISSN 2308-6769

© НОУ ВПО «Камский институт гуманитарных и инженерных технологий», 2014

© Авторы, постатейно, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Рожков А.И., Дёмин А.В., Грудницкий О.М., Николаев В.В., Феклистов А.В. Белорусский металлургический завод как источник сырья для цинковой промышленности.....	4
Рожков А.И., Ермакова Е.В. Опыты по брикетированию пыли дуговых сталеплавильных печей.....	10
Рожков А.И., Зинкевич И.А., Леднева А.А. Доработка контейнера для вывоза отходов производства с целью уменьшения влажности соли.....	18
Ерофеев С.В., Жиляев С.В. Разработка классификатора технологических операций очистки деталей	23
Жиляев С.В., Кугультинов С.Д., Мурзин Ю.П., Рябов С.А., Шашкина Н.А. Самоходное шасси на основе пневматического привода каждого колеса	27
Загороднов В.В., Бекер В.Ф. Снижение риска затопления насосных станций в соляных рудниках средствами автоматизации	31
Рожков А.И., Дёмин А.В., Грудницкий О.М., Николаев В.В., Феклистов А.В., Пайташ А.Н. К вопросу области применения стали 1.2746, EN ISO4957 для изготовления ножей для рубки металлолома.....	37
Дёмин А.В., Рожков А.И., Грудницкий О.М., Николаев В.В., Феклистов А.В. Поиск способов утилизации пыли дуговых сталеплавильных печей на Белорусском металлургическом заводе.....	40
Пугач С.А., Бекер В.Ф. Оптимизация процесса грануляции в производстве хлорида калия.....	50
Ракаева Т.Г. Моделирование транспортно-перегрузочной системы на открытых горных работах	58
Бухарева С.С., Жиляев С.В. Алгоритм проектирования круглых фасонных резцов в САД/САМ системах	64
Кугультинов С.Д., Жиляев А.С. Исследование силовых параметров при фрезеровании алюминиевых сплавов	68
Прозаев Е.П. Современные средства подводного передвижения	70
Ким С.Л. Методы анализа и расчёта основных характеристик зон соединения в биметаллах.....	72
Соломенников Н.Н. Адаптация стенда StT 500 для ударных испытаний специальной техники.....	77

УДК 669

А.И. Рожков, кандидат технических наук

А.В. Дёмин, кандидат технических наук

О.М. Грудницкий, инженер-технолог

В.В. Николаев, инженер-технолог

А.В. Феклистов, инженер-технолог

Сталеплавильная лаборатория исследовательского центра,
Белорусский металлургический комбинат (Жлобин, Беларусь)

БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД КАК ИСТОЧНИК СЫРЬЯ ДЛЯ ЦИНКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье рассказывается о начале использования отхода производства четвёртого класса опасности: пыли газоочисток дуговых сталеплавильных печей в качестве сырья для цинковой промышленности.

The article tells about the beginning of waste utilization fourth hazard class: dust gas cleaning arc furnaces as a raw material for the zinc industry.

Ключевые слова: пыль газоочисток, дуговые сталеплавильные печи, цинк, металлолом.

Keywords: gas cleaning dust, arc furnace steelmaking, zinc scrap.

В промышленном масштабе выплавка цинка началась в XVIII в. Основным источником сырья являются различные руды, содержащие 1–4 % Zn в виде сульфида. Руды обогащают селективной флотацией, получая цинковые концентраты (50–60 % Zn), которые обжигают в печах в кипящем слое, переводя сульфид цинка в оксид ZnO. Затем оксид цинка восстанавливают пирометаллургическим (дистилляционным) или электролитическим (гидрометаллургическим) способом.

За прошедшие столетия основные месторождения цинка оказались близкими к концу выработки, с другой стороны, появилось достаточно большое количество цинкосодержащего сырья техногенного происхождения. Порядка 45–60 % применяемого цинка идёт на оцинкование поверхностей железных конструкций, которые рано или поздно, идут на металлолом. Температура плавления цинка – 419,6 °С, кипения – 906,2 °С. Поэтому, при попадании оцинкованного металлолома в дуговую сталеплавильную печь, цинк испаряется ещё до того, как начнёт плавиться сталь. Пары цинка окисляются, и ZnO оказывается в пыли газоочисток. В конце XX-го, в

начале XXI веков были разработаны технологии извлечения цинка из пыли дуговых сталеплавильных печей. Содержание цинка в пыли не меньше, чем в рудах. С ростом доли оцинкованного металлолома, растёт и содержание цинка в пыли. За 2010-2011 гг. содержание цинка в пыли дуговых сталеплавильных печей Белорусского металлургического завода выросло с 0,46 – 28,2% (среднее значение 12,55%) до 10,35 – 33,96 % (среднее значение 23,8 %). В таблице 1 приведены значения химического состава пыли 2005 – 2010 гг. и в 2011 г. С 2011 года и по 2014 г химический состав пыли практически не изменился. При выплавке кордовых марок стали содержание цинка в пыли составляет 25 - 36 %, при выплавке трубных марок стали содержание цинка в пыли уменьшается до 21 – 22 %, при выплавке сталей рядового сортамента содержание цинка в пыли уменьшается до 20 – 22 %. Такое содержание цинка соответствует концентрации цинка в обогащённой руде. Вместе с тем, широкому использованию пыли Белорусского металлургического завода в цинковой промышленности мешают его удалённость от цинковых заводов: Челябинского, Казахского и содержание в пыли щелочных металлов: калия и натрия. Перевозить цинк содержащее сырьё на такие большие расстояния экономически не выгодно. На Белорусском металлургическом заводе проводились исследования по увеличению содержания цинка в пыли методов вдувания в дуговую сталеплавильную печь, которые оказались неудачными, и брикетированием пыли, которые показали экономическую нецелесообразность данного метода.

Относительно несложные технологии позволяют довести содержание цинка до 55 - 60% и уменьшить содержание щелочных металлов, но их производительность гораздо больше объёмов образования пыли на Белорусском металлургическом заводе. (В табл. 2 приведён приблизительный химический состав цинкового концентрата). Поэтому строительство подобных установок на заводе не имеет смысла. Вместе с тем, аналогичные установки есть в европейской части бывшего Советского Союза. Прорабатывался вопрос расконсервации установки по утилизации цинк содержащих отходов на ОАО «СветлогорскХимволокно». В случае её запуска цинковый концентрат шёл бы на экспорт, а отход производства представлял бы ценное железосодержащее сырьё для цементной промышленности.

В 2011 году начались поставки пыли «Укрцинк», киевская область. Пыль старались отгружать, которая образовалась при выплавке кордовых и трубных марок сталей.

Специалисты компании ZincOx в течение шести лет работали над технологией извлечения цинка из отходов сталелитейной промышленности. Этот процесс долгое время считался слишком сложным и дорогостоящим. ZincOx сообщила о чистых убытках в размере 3,5 млн. фунтов стерлингов в первом полугодии 2011 г. В 2010 г. она потеряла 112 млн. фунтов. Это произошло главным образом потому, что

ей пришлось закрыть свои шахты в Йемене, где дальнейшие работы стали слишком опасны. Компания ZincOx Resources запустила в апреле 2012 года в Южной Корее завод по извлечению цинка из отходов производства стали. Исполнительный председатель ZincOx Эндрю Вуллетт сказал, что целью его компании является смещение приоритетов производителей и потребителей цинка от добычи к переработке. С этой целью и создавался завод стоимостью 110 млн. дол. возле города Поханга, который находится в восточной части страны - в самом центре корейской сталелитейной промышленности. Бизнесмен планирует использовать завод в качестве образца для последующего экспорта модели переработки цинка на металлургические заводы в Таиланде, Турции, США и Китае.

Таблица 1 – Изменение химического состава пыли за период 2005-2011 г.

Средние значения результатов химического состава пыли в 2011 г.					
Соединение	Fe _{мет} , %	Fe _{общ} , %	Fe ₂ O ₃ , %	FeO, %	Mn, %
Среднее значение	0,5	26,8	37,0	2,6	1,3
Диапазон	0,3-1,0	21,0-34,0	25,5-48,6	0,4-4,0	0,68-2,0
Соединение	Pb, %	Sn, %	Zn, %	CaO, %	MgO, %
Среднее значение	0,3	0,03	23,8	9,3	1,9
Диапазон	0,07-2,7	до 0,1	10,35-33,96	5,56-16,63	1,36-4,7
Соединение	Al ₂ O ₃ , %	SiO ₂ , %	Cr, %	Ni, %	Cu, %
Среднее значение	1,0	3,6	0,2	0,03	0,1
Диапазон	0,4-2,17	0,1-6,69	0,05-0,4	0,003-0,32	0,03-0,3
Соединение	Cl, %	S, %	C, %	Σ K ₂ O+Na ₂ O %	
Среднее значение	1,8	0,8	1,9	6,2	
Диапазон	0,1-3,76	0,04-1,53	0,4-3,28	2,7-11,8	
Средние значения результатов химического состава пыли за период 2005 – 2010 гг.					
Соединение	Fe _{мет} , %	Fe _{общ} , %	Fe ₂ O ₃ , %	FeO, %	Mn, %
Среднее значение	н.д.	34,44	48,79	н.д.	1,99
Диапазон	н.д.	2,5 – 74,0	17,7 - 90	н.д.	0,3 – 5,2
Соединение	Pb, %	Sn, %	Zn, %	CaO, %	MgO, %
Среднее значение	1,25	0,30	12,55	12,36	2,98
Диапазон	0,01- 3,60	0,0 – 2,0	0,46 – 28,2	0,20 – 61,0	0,10 – 12,0
Соединение	Al ₂ O ₃ , %	SiO ₂ , %	Cr, %	Ni, %	Cu, %
Среднее значение	1,38	6,00	0,24	0,03	0,15
Диапазон	0,10 – 26,40	0,24 – 64,0	0,03 – 0,50	0,01 – 0,09	0,02 – 0,33
Соединение	Cl, %	S, %	C, %	Σ K ₂ O+Na ₂ O %	
Среднее значение	1,65	1,02	2,15	н.д.	
Диапазон	0,79 – 2,5	0,1 – 5,4	0,30 – 5,90	н.д.	

Таблица 2 – Химический состав цинкового концентрата

Хим. элемент	Fe _{общ} , %	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Cl, %
Диапазон	2,5–4,5	15–20	55–64	0,35–0,95	0,25–0,35

ZincOx представила первую партию переработанных отходов таких металлургических компаний, как Posco, Hyundai, Dongkuk, Dongbu и Daehan. Сам металл в большинстве случаев используется в качестве защитного покрытия для автомобилей и бытовой техники.

Завод будет постепенно наращивать годовой объем производства. В следующем году планируется выйти на уровень в 92 тыс. т цинка. По словам Э. Вуллетта, этот объем составляет около 15% от спроса на цинк в Корее.

"Мощность нашего завода вскоре сравнится с объемом добычи на пятом по величине цинковом руднике в Китае", – сказал он, добавив, что переработанный металл будет куплен Korea Zinc, компанией, которая предоставила 50 млн. дол. на строительство завода, где трудоустроены 55 человек. По словам Э. Вуллетта, предприятия металлургии заинтересованы в такой схеме работы, потому что ранее они должны были платить от 40 до 50 дол. за каждую тонну утилизируемых отходов. ZincOx делает это бесплатно. Э. Вуллетт признал, что конкуренты будут стремиться догнать его компанию. По его оценкам, у ZincOx есть преимущество в развитии примерно на 18 месяцев [1].

Уже через месяц после запуска компания ZincOx Resources сообщила об успешной работе запущенного корейского перерабатывающего завода: коэффициент извлечения цинка из вторсырья устойчиво составляет 90 % и постоянно возрастает, при содержании металла в продукте 61 %. Весь вторичный цинк компания продает на переплавку Korea Zinc в рамках 10-летнего соглашения. «Все оборудование работает нормально, и мы увеличиваем производительность предприятия в сторону достижения паспортной мощности [2].

Крупнейший производитель огнеупоров в России группа «Магнезит» (основные мощности в Челябинской области) предпринял попытку создать в России предприятие по переработке пылей, образующихся в процессе сталеплавильного производства. Ее дочерняя компания «Урал-рециклинг» анонсировал проект по организации переработки цинксодержащих пылей электросталеплавильного производства в Челябинской области. На тот момент «Магнезит» владел компанией на паритетных началах с Челябинским цинковым заводом (ЧЦЗ). Для последнего этот проект должен был частично решить проблему обеспечения сырьем: в результате переработки цинксодержащего материала предполагалось получать концентрат с содержанием цинка не менее 60%, а из него - металлический цинк. При этом проблем с размеще-

нием новых мощностей не возникло бы: в результате модернизации и технологического обновления на предприятиях Саткинской промплощадки «Магnezита» высвобождались печи, которые могли бы стать базовыми агрегатами для рециклинга. К производству планировали приступить во второй половине 2012 г.

Однако уже в феврале 2012 года ЧЦЗ вышел из проекта: совет директоров компании принял решение о продаже партнеру пакета в «Урал-рециклинге» из-за экономической нецелесообразности участия в нем цинкового предприятия. «По результатам проработки всех условий проекта нами был сделан вывод о том, что современное состояние конъюнктуры рынка не позволяет рентабельно вести переработку цинкосодержащих пылей, – отмечает гендиректор ЧЦЗ Ринат Шакирзянов. - Нас не устроил срок окупаемости проекта, кроме того, отсутствуют гарантированные источники сырья в количестве 200 тыс. тонн в год с содержанием цинка более 15%» [2].



Оцинкованный металлолом визуально отличается от обычного

В конце октября 2012 г. компания «Урал-рециклинг» и британская ZincOx Resources plc (ZincOx) подписали соглашение о создании специализированного совместного предприятия. Стороны договорились, что СП обеспечит реализацию

первого этапа программы – строительство завода по переработке техногенных продуктов в РФ. «Урал-рециклинг» (доля в СП - 49%) будет выполнять функции управляющей компании, ZincOx (доля - 51%) - предоставит технологии, инжиниринг и ноу-хау для рециклинга пылей, обеспечит техническую поддержку. Ожидается, что уже в конце 2014 года проект нового завода будет готов. Площадку для его размещения и объем мощностей определяют в ходе проектирования. В начале 2013 года делегация специалистов Белорусского металлургического завода посетила компанию «Урал-рециклинг». Была достигнута договоренность о взаимной заинтересованности в поставке пыли на создаваемое предприятие. «Урал-рециклинг» провела исследования, показавшие возможность использования пыли Белорусского металлургического завода на планируемой установке.

Содержание цинка в пыли зависит от количества оцинкованного металлолома в шихте. Как видно из рисунка, оцинкованный металлолом поступает неравномерно. Организация сортировки оцинкованного металлолома от обычного позволит получить два вида пыли: с высоким содержанием цинка, и с малым.

В ближайшие годы на Белорусском металлургическом заводе планируется поэтапное оборудование всех дуговых сталеплавильных печей системами подогрева шихты, что приведёт к очередному увеличению содержания цинка в пыли, ориентировочно до 35%.

Как видно из вышесказанного, в цинковой промышленности начался этап, который чёрная металлургия пережила уже достаточно давно: началось строительство заводов, специализирующихся на добыче цинка из отходов, а не из руды.

Список литературы

1. <http://www.mineral.ru/News/47703.html>
2. <http://metallist.dp.ua/2012/06/18/zinc-ox-dovolna-rabotj-svoego-korejskogo-predpriyatiya.html>
3. <http://expert.ru/ural/2012/44/zolotaya-pyl/>

УДК 669

А.И. Рожков, кандидат технических наук
Е.В. Ермакова, инженер-технолог
Центральная заводская лаборатория,
Белорусский металлургический комбинат (Жлобин, Берарусь)

ОПЫТЫ ПО БРИКЕТИРОВАНИЮ ПЫЛИ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

В статье повествуется о лабораторных и промышленных опытах по брикетированию пыли дуговых сталеплавильных печей с различными видами связующих материалов.

The article tells the story of laboratory and industrial experiments briquettes-ing EAF dust with different types of adhesives.

Ключевые слова: пыль дуговых сталеплавильных печей, связующий материал, цинк, брикетирование.

Keywords: EAF dust, bonding mother-al, zinc, briquetting.

Брикетирование – процесс получения кусков (брикетов) с добавкой и без добавки связующих веществ с последующим прессованием смеси в брикеты нужного размера и формы. Утилизация пыли дуговых сталеплавильных печей с предварительным её брикетированием широко используется [1–10], несмотря на очевидные недостатки:

1) Необходимо использовать связующее вещество, которое обеспечивала бы необходимую прочность, что удорожает утилизацию.

2) Связующее вещество является «балластом», что приводит к снижению выхода годного, увеличению расхода электроэнергии, снижению производительности печей.

3) Брикеты получаются маломанитными, поэтому их сложно загружать магнитными кранами в печь.

4) Необходима линия по брикетированию пыли, включающая в себя следующие технологические операции: перемешивание пыли со связующим, прессование смеси, сушка полученных брикетов.

Наиболее подходящей для условий Белорусского металлургического завода является технология, разработанная компанией НКК (Япония). Пыль, содержащую около 20 % цинка и 40 % оксидов железа (пыль на Белорусском металлургическом

заводе имеет похожий химсостав), смешивают с порошкообразным коксом, окатывают и полученные окатыши загружают в ДСП. При высокой температуре атмосферы печи оксид цинка пыли восстанавливается коксом и образуются пары цинка, которые снова окисляются кислородом воздуха. Эти оксиды цинка отсасывают и улавливают в рукавных фильтрах, в которые они поступают из дымососа. Оксиды железа пыли также восстанавливаются и более 70 % образующегося железа переходит в жидкую ванну. Осажденная в фильтрах пыль содержит около 75 % ZnO и 15 % Fe₂O₃. Объем пыли снижается до 37 % объема исходной пыли. Из каждой тонны пыли переходит в жидкую ванну 0,28 т железа и образуется 0,2 т жидкого шлака. Обогащенная цинком пыль (более 60 % цинка) легче и с меньшими затратами перерабатывается на цинк, более 99 % диоксинов, содержащихся в исходной пыли, разрушаются при высокотемпературной ее переработке. Образующийся в ДСП нетоксичный шлак можно использовать в качестве строительного материала [9]. Схема переработки представлена на рис. 1. На тот момент, на Белорусском металлургическом заводе, уже имелся положительный опыт брикетирования и утилизации окалины в ДСП. Брикеты изготавливались на линии по изготовлению тротуарной плитки [11].

В качестве связующего, в металлургии используются следующие вещества:

1. Отсев извести;
2. Жидкое стекло;
3. Шлак мелкой фракции;
4. Портландцемент;
5. Науглераживатель.

Первые опыты по брикетированию пыли проводились в химической лаборатории металлургического производства ЦЗЛ Белорусского металлургического завода с различными связующими, и в различной пропорции с пылью, без науглероживателя. Прессование пыли газоочистки проводилось на лабораторном таблетоформовочном прессе Тип НТР 60 фирмы «HERZOG». Диаметр таблеток – 40 мм. Далее приведена информация о видах и доли связующих, приведены фото полученных брикетов.

1. Отсев извести в пропорциях 1:1, 2:1, 3:1. Сила прессы – 500кН. Все образцы крошатся и расслаиваются. В последнем случае, с пропорцией 3:1 часть образца твёрдая (проба № 5), рис. 2.

2. Жидкое стекло. Очень плохо перемешивается с пылью. Брикет получается неоднородным, легко разрушается (проба №6), рис. 3.

3. С науглероживателем пробы не прессуются при разных усилиях прессы 300кН; 400кН; 600кН, рис. 4.

4. Шлак (пробы № 7 и 8), рис. 5.

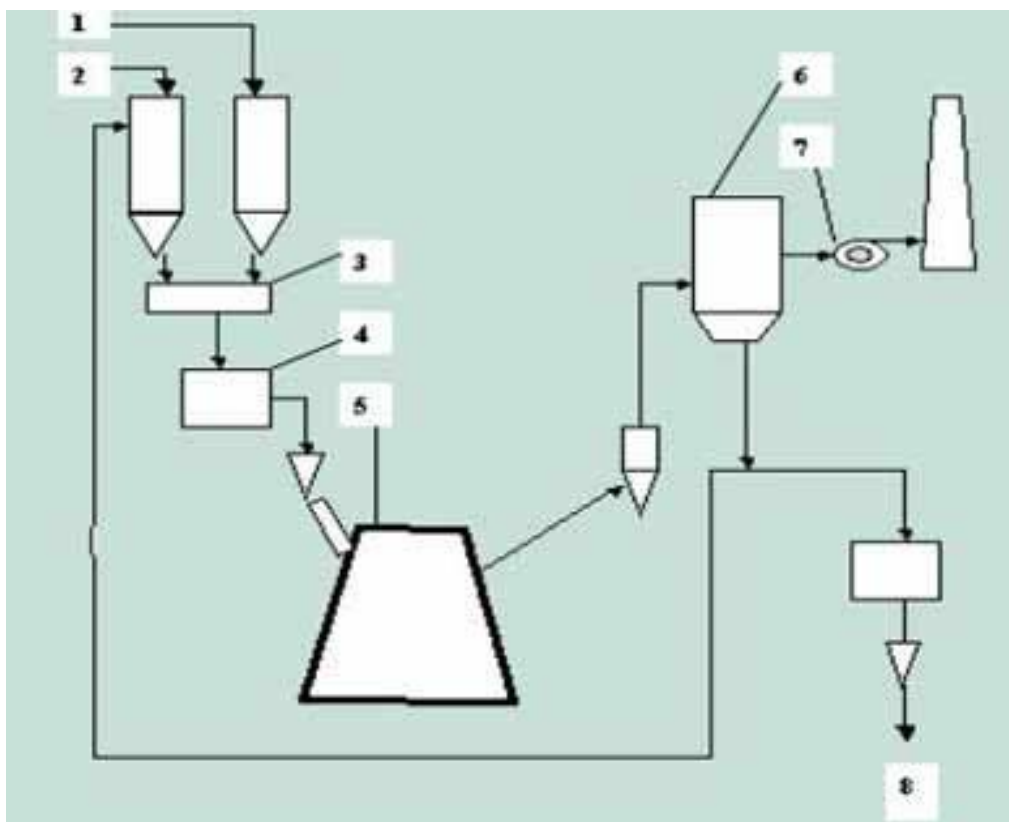


Рисунок 1 – Схема переработки электросталеплавильной пыли: 1 – кокс; 2 – электросталеплавильная пыль; 3 – смеситель; 4 – окомкователь; 5 – дуговая печь; 6 – рукавный фильтр; 7 – дымосос; 8 – обогащенная цинком пыль



Рисунок 2 – Брикет с отсевом извести в качестве связующего



Рисунок 3 – Брикет с жидким стеклом в качестве связующего



Рисунок 4 – Обломки брикетов, с науглероживателем в качестве связующего



Рисунок 5 – Брикетты, со шлаком в качестве связующего

5. Клей ПВА. Было изготовлено четыре брикета с различными процентными содержаниями клея и силой пресса. Их параметры приведены в Таблице 1.

Брикеты получились немагнитными, что исключает их загрузку магнитным краном в копровом цеху. Единственным способом ввода в ДСП остаётся подача через систему высотных бункеров. Плотность брикетов получилась 1 974 - 2 667 кг/м³. При такой плотности брикеты будут плавать на границе металл-шлак. Внешний вид брикетов показан на рис. 6–9.

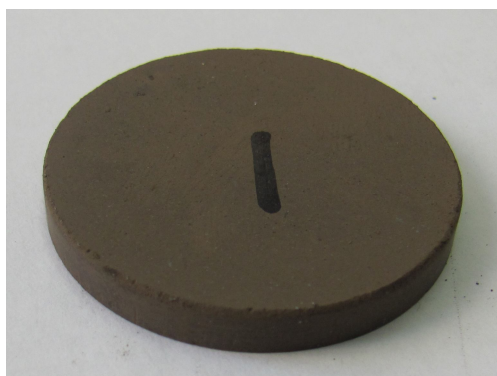


Рисунок 6 – Брикет, с клеем ПВА в качестве связующего, проба № 1



Рисунок 7 – Брикет, с клеем ПВА в качестве связующего, проба № 2



Рисунок 8 – Брикет, с клеем ПВА в качестве связующего, проба № 3



Рисунок 9 – Брикет, с клеем ПВА в качестве связующего, проба № 4

Следующим этапом исследований было брикетирование пыли со связующим и с науглероживателем. Использовались два связующих: клей ПВА и цемент. Все брикеты получились правильной цилиндрической формы.

Параметры брикетирования:

Усилие прессования – 30 кН;

Время прессования – 30 с;

Диаметр образцов – 40 мм.

Таблица 1 – Параметры брикетов при использовании в качестве связующего клея ПВА

№ пробы	масса клея, грамм	Сила пресса, кН	Давление пресса, МПа	Масса брикета, грамм	Объём брикета м ³ 10 ⁻³	Плотность брикета кг/м ³
1.	0,3	30	23,89	12,4	6,28	1 974
2.	0,5	30	23,89	10	4,396	2 275
3.	0,5	100	79,6	10,8	4,396	2 456
4.	1	300	238,9	13,4	5,024	2 667

Таблица 2 – Параметры брикетов пыли с науглероживателем

№	Связующее	Масса связующего, г	Масса пыли, г	Примечание
1	цемент	1	9	
2	цемент	3	27	
3	цемент	3	27	цемент предварительно смочен водой
4	клей ПВА	0,5 г	16 г пыли + 4 г науглероживателя	
5	клей ПВА	0,5 г	24 г пыли + 6 г науглероживателя	
6	клей ПВА	1 г	24 г пыли + 6 г науглероживателя	
7	цемент	3 г	27 г (20% смесь пыли с науглероживателем)	
8	цемент	3 г	27 г (20% смесь пыли с науглероживателем)	цемент предварительно смочен водой

Точно такие же образцы, подготовленные аналогично № 3, 4, 5, 6, 8 были просушены в лабораторном сушильном шкафу при температуре 100 ° С в течение 30 минут раскрошились и расслоились.

Параллельно пробы пыли были переданы сотрудникам Белорусского национального технического университета, где были изготовлены брикеты с науглероживателем, и жидким стеклом в качестве связующего. Прочность и плотность брикетов получились удовлетворительными. Их внешний вид представлен на рис. 10.

После получения положительных лабораторных результатов, начались работы изготовления опытной партии брикетов из пыли. Несколько опытных брикетов были изготовлены на ЧУП «Силикатный завод», г. Бобруйск. Их внешний вид представлен на рис. 11.



Рисунок 10 – Брикеты, изготовленные в Белорусском национальном техническом университете



Рисунок 11 – Брикет, изготовленный на ЧУП «Силикатный завод», г. Бобруйск

На основании технических данных, полученных в ходе изготовления опытных образцов брикетов, был произведён экономический расчёт, который показал нецелесообразность утилизации пыли методом брикетирования из-за низкого содержания железа в пыли, высокой цены связующего, относительно небольшой ставки экологического налога. Поэтому начались исследования утилизации пыли дуговых сталеплавильных печей на специальных установках, в условиях Белорусского металлургического завода, о чём будет рассказано в следующей части.

Список литературы

1. Макачук В. В., Кошелев Е. С., Волюнкина Е. П. Технология производства брикетов как эффективный способ переработки мелкодисперсных отходов металлургических предприятий НП "Экологический региональный центр" (Новокузнецк, Россия) URL: <http://waste.ua/cooperation/2004/thesis/makarchuk1.html>
2. Лопес Ф.А., Лопес-Дельгадо А. Усовершенствование способа утилизации пыли электродуговых печей посредством её переработки в этих же печах URL: http://www.zdc.ru/zdc/articles/articles_10.html
3. Готох Ш., Накамура К. Брикетер хонинговального шлама и печной пыли // Технический обзор. 2006. № 74.
4. NTN Develops "EAF Dust Briquetter" http://www.ntn.co.jp/english/news/news_files/new_products/news20060113.html
5. Бидюк М.Д. Анализ ресурсо-энергосбережения и усовершенствование технологических мероприятий по утилизации вторичных ресурсов в электросталеплавильном производстве. Автореф. ... магистр. URL: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2006/fizmet/biduk/diss/index.htm>
6. <http://ecoenergy.uaprom.net/a14552-briketirovanie-othodov-staleplavilnyh.html>
7. Гоник И.Л., Лемякин В.П., Новицкий Н.А. Особенности применения брикетируемых железосодержащих отходов // Металлург. 2011. № 6. URL: <http://www.steelmaker.ru/ru/node/1790>
8. Бычков С. В. Опыт утилизации железосодержащих отходов металлургического комплекса методом брикетирования. Днепропетровск: Корпорация «Укрпромпереработка» URL: <http://waste.ua/cooperation/2009/theses/bychkov.html>
9. Лопухов Г. А. Переработка электросталеплавильной пыли // Электрометаллургия. 2001. № 1. С. 47–48.
10. Сильченко О.П., Кочура В.В. Проблемы утилизации цинксодержащей пыли сталеплавильного производства // Охорона навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів: Тез. VIII Междунар. конф. аспирантов и студентов Донецкого национального технического университета. URL: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2009/fizmet/silchenko/library/article1.htm>
11. Опыт использования железобоксодержащих брикетов в электросталеплавильном переделе в ДСП РУП "БМЗ" // Журнал металлург. 2003. № 1. URL: <http://briquet.ru/bmz.shtml>.

УДК 669

А.И. Рожков, кандидат технических наук

И.А. Зинкевич, инженер-технолог

А.А. Леднева, учитель

Белорусский металлургический комбинат (Жлобин, Берарусь)

ДОРАБОТКА КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ВЫВОЗА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ СОЛИ

В статье рассказывается о доработке стандартного контейнера для транспортировки отходов производства с целью уменьшения влажности солевого остатка.

The article tells about the finalization of the standard container for transport of waste products in order to reduce the humidity of the salt residue.

Ключевые слова: контейнер для транспортировки отходов производства, солевой остаток, двойное дно, влажность.

Keywords: container for transporting waste products, salt residue, double bottom, humidity.

На химвлоке СтПЦ-2 Белорусского металлургического завода соль, образующаяся на выпарной установке, сыпается в стандартный контейнер для вывоза отходов производства. Так как влажность соли может достигать 20%, это приводит к тому, что вода собирается на дне контейнера (рис. 1). По мере заполнения контейнера, нижние слои соли оказываются под водой (рис. 2). Перед вывозом контейнера, вода из него выкачивается. Высокая влажность нижних слоёв соли приводит к тому, что использовать соль в народном хозяйстве крайне сложно. На рисунке 3 изображена куча соли. На рисунке видно, что верхняя часть кучи сухая, а нижняя – очень влажная (нижняя часть расплылась вместе с водой). Со временем, нижняя, более влажная часть, каменеет, а верхняя остаётся рассыпчатой. Вполне логичным стал вопрос уменьшения влажности соли. Один из авторов данной статьи вспомнил, как подобная проблема решается при изготовлении творога в домашних условиях: влажный творог помещается в марлю, и подвешивается над ёмкостью. Вода со временем стекает, сухой творог остаётся в марле (рис. 4). Было предложено аналогично поступить и с влажной солью: поместить её в «биг-бэг», и подвесить над контейнером. В процессе обсуждения было решено попробовать несколько иной вариант: поверх существующего дна установить второе, водопроницаемое.



Рисунок 1 – Начало загрузки соли в контейнер



Рисунок 2 – Нижние слои соли покрыты водой



Рисунок 3 – Куча соли. Верх сухой, низ очень влажный



Рисунок 4 – Сушка творога

Соль должна оставаться на верхнем дне, а вода сливаться вниз. На рис. 5 изображён боковой разрез модернизированного контейнера. Новое, водопроницаемое дно, показано стрелкой 1. Чертёж разработала инженер-конструктор Железнова.

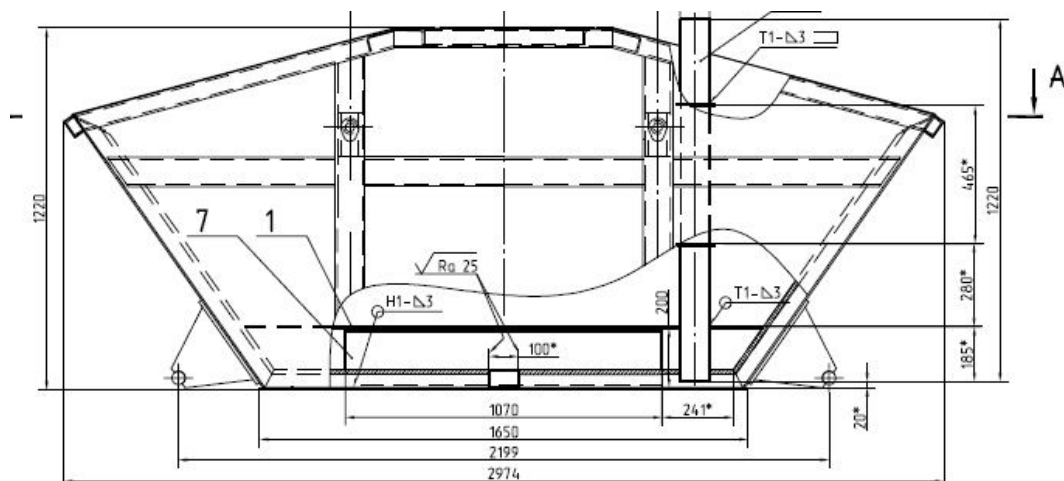


Рисунок 5 – Боковой разрез модернизированного контейнера

Для отсасывания воды в конструкции контейнера предусмотрена специальная труба, которая изображена на рис. 6.

Испытания показали, что идея полностью себя оправдала. Как показано на рис. 7, влажная соль растекается по верхнему дну, вода стекает вниз. Вся соль становится сухой, как на ощупь, так и судя по внешнему виду. Влажность соли стала порядка 7,5%.

Уменьшение влажности соли более чем на 10% примерно на столько же уменьшила массу соли, вывозимой на полигон отходов, что уменьшило сумму экологического налога, которую платит предприятие.

Описанное техническое решение может использоваться при выгрузке любых отходов производства с высокой влажностью.



Рисунок 6 – Вертикальная труба для откачки воды из междудонного пространства



Рисунок 7 – Влажная соль растекается по верхнему дну доработанного контейнера

УДК 65.011.56

С.В. Ерофеев, студент

С.В. Жиляев, кандидат технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАТОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с разработкой информационного обеспечения для автоматизированного проектирования технологических операций очистки деталей.

The questions related to the development of information support for automated design of technological parts cleaning operations.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, технологическая операция, изготовление детали.

Keywords: computer-aided design, manufacturing operation, production parts.

В настоящее время в мире неуклонно растет потребность в новых технических решениях в области технологии машиностроения и их быстрым внедрением в производство.

Накоплен большой объем научно-технической информации по методам обработки деталей машин. В специализированных журналах и изданиях много говорится о методах защиты металлов от коррозии, проводятся выставки, разрабатываются новые виды покрытий. Но нигде не уделяется внимание методам подготовки поверхности, а ведь она является определяющим фактором качества покрытия.

В современном мире коррозия металлов и защита их от коррозии является одной из важнейших научно-технических и экономических проблем. По оценкам экспертов, коррозия за год уничтожает от 25 до 30% годового объема производства черных металлов.

Для того чтобы металлоконструкции служили дольше, необходима качественная защита металла от неблагоприятных воздействий окружающей среды. Чем надежнее покрытие, тем больше срок эксплуатации конструкций и оборудования и реже требуется ремонт. Если стоит задача получить высококачественное покрытие, то нецелесообразно экономить на подготовке поверхности под окраску.

Качественная подготовка поверхности под окраску - одно из основных условий качества и долговечности лакокрасочного покрытия. Цель подготовки - удаление с поверхности любых загрязнений, мешающих непосредственному контакту лакокрасочного материала с подложкой, а также создание рельефа поверхности, способствующего увеличению истинной поверхности контакта.

Следует отметить, что очистка деталей для ряда производств требует до 10% от общей затраты времени на их изготовление (Спринг С. Очистка поверхности металлов. М., 1966. 349 с.). Если при этом учесть, что в нашей стране имеются сотни тысяч предприятий, которые осуществляют очистку своей продукции, эксплуатируемого оборудования и инструментов, то актуальность этой проблемы становится более чем очевидной.

Существует множество технологических приемов очистки поверхностей. Стремление к использованию традиционных, хорошо известных методов обработки часто вызвано исключительным наличием достаточной информации, регламентирующей режимы и условия, предъявляемые к оборудованию в целом. Таким образом, остальные малоизвестные способы часто не учитываются даже в качестве альтернативных вариантов из-за невозможности нахождения необходимой информации для понимания метода и возможности его прямого внедрения.

Решение поставленных задач требует оперирования большим объемом разнобразной информации, что затруднительно для студентов – технологов и специалистов.

Создание концентрированной, структурированной информационной базы данных и методики позволит технологическому персоналу и студентам разработать оптимально удовлетворяющие требованиям техпроцессы и оборудование, связанные с подготовкой поверхности металла под дальнейшую обработку.

Автоматизация технологической подготовки производства на предприятии - важный шаг к сокращению затрат на выпуск новых видов изделий.

Планирование производственных процессов связано с определением последовательности выполнения отдельных технологических операций, необходимых для изготовления данной детали или вида продукции и выбором соответствующей инструментальной оснастки.

Системы автоматизированного планирования производственных (технологических) процессов (САПР ТП) открывают перспективы для уменьшения объема рутинной канцелярской работы инженеров-технологов. В то же время они обеспечивают возможность разработки таких технологических процессов, которые рациональны, состоятельны и, может быть, даже оптимальны.

В рамках модуля ADEM CAPP реализован САПР проектирования техпроцессов механообработки. Так же имеется возможность проектирования техпроцессов

очистки поверхностей. Но информация по этим разделам в системе практически отсутствует.

Для решения этой проблемы был разработан классификатор видов загрязнений, пример которого представлен в таблице, и классификатор методов очистки, который частично представлен на рисунке.



Классификация методов очистки изделий в машиностроении

Таким образом, был произведен сбор и классификация информации по наиболее распространенным типам загрязнений и существующим методам очистки поверхности деталей. Создана методика проектирования технологических операций очистки поверхности деталей, содержащей рекомендации по выбору метода очистки поверхности деталей от определенного типа загрязнений.

Собранную информацию можно реализовать на практике в САПР ТП Adem SAPR, создать БД современного оборудования, инструмента, оснастки в рамках Adem SAPR. Это позволит повысить качество и снизить трудоемкость подготовки технологической документации. Снабдит студентов – технологов, инженеров – технологов дополнительным арсеналом решений для разработки оптимальных удовлетворяющих требованиям техпроцессы и оборудование связанные с подготовкой поверхности металла под дальнейшую обработку.

Классификация видов загрязнений

Тип загрязнения, содержание веществ, описание свойств	Рекомендации по условиям очистки
Продукты коррозии:	
1. Окислы – встречаются при взаимодействии металла с различными агрессивными средами (кислоты, щелочи) и состоят из солей металла с этими веществами.	1. Мойкой в щелочных, кислых и нейтральных растворах. 2. Пароструйная очистка.
2. Окалина – толстый слой оксидов, образующийся в процессе выплавки или горячей обработки стали. Из-за больших температур окисление металла происходит быстрее. Существуют различные способы уменьшения этого вредного воздействия.	1. Сбивание стальной или чугунной дробью. 2. Гидроабразивной обработкой. 3. Пламенной обработкой. 4. Травлением в кислых растворах на основе фосфорной и др. кислоты. В расплавах солей. 5. Обдувка сжатым воздухом. 6. Различными механическими способами.
3. Ржавчина – видимые продукты коррозии, состоящие, в случае черных металлов, главным образом, из гидратированных оксидов железа. Присутствует практически везде, при любых условиях работы.	1. В кислых растворах на основе фосфорной кислоты 2. В расплавах каустической соды. 3. Использование различных щеток, скребков.
Прочие твердые загрязнения:	
1. Накипь – этот тип загрязнений характерен для водонагревательных систем котельных, тепловых узлов. Состоит из различных минеральных солей, содержащихся в воде, осаждающихся на нагревательных тенах и стенках установок.	1. Очистка в расплавах солей. 2. Очистка в кислых растворах.
2. Дорожная грязь – данный тип загрязнений характерен для частей подвижного состава ж/д. вагонов автотранспорта. Совмещает в себе различные по происхождению компоненты.	1. Сбивание стальной или чугунной дробью. 2. Мойка в специальных установках с использованием щеток на различной основе. 3. Портативными установками, управляемых одним оператором.
3. Нагары – наиболее часто встречается на изделиях, работающие при высоких температурах, сгорания топлива. Это цилиндры автомобилей, лопатки авиационных турбин. Состоит из не сгоревших остатков топлива, масел, смешанных с пылью и пр. веществами.	1. Косточковой крошкой. 2. В расплавах солей. 3. Галтовка мокрая.

УДК621.541

С.В. Жиляев, кандидат технических наук, доцент
С.Д. Кугультинов, доктор технических наук, профессор
Ю.П. Мурзин, студент
С.А. Рябов, студент
Н.А. Шашкина, студент
Ижевский государственный технический университет

САМОХОДНОЕ ШАССИ НА ОСНОВЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА КАЖДОГО КОЛЕСА

Разработана конструкция пневматического привода работающего с использованием сжатого воздуха, что позволяет повысить экологичность и экономичность его использования.

The design of the pneumatic actuator works with use of either compressed air, which improves the environmental and economical of-use.

Ключевые слова: пневматический привод, сжатый воздух, самоходное шасси.

Keywords: pneumatic drive, compressed air, self-propelled chassis.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС), широко применяемые на транспорте и в строительстве из-за своей автономности, являются одним из основных источников загрязнения воздушной среды.

В последнее время для многих автопроизводителей такая особенность, как экологичность, становится одной из основных целей при выпуске их продукции. В этой связи все автопроизводители, включая российских, начали активно искать решение экологических и экономических проблем – как сделать эффективное транспортное средство, которое в идеале не сжигало бы дорогое ископаемое топливо и, следовательно, не загрязняло окружающую среду. Как итог – появление все большего количества вариантов решения этой задачи. Но пока самым оправдывающим себя способом, ограничивающим вредное воздействие на окружающую среду, является применение в автомобилестроении гибридного привода.

В большинстве видов транспорта работает тот или иной двигатель, и на сегодняшний день в большинстве случаев это либо двигатель внутреннего сгорания, либо электродвигатель, либо двигатели, работающие на сжатом воздухе, либо гиб-

ридные двигатели. В настоящее время производители транспортных средств освоили выпуск гибридных силовых установок, работающих по схеме «ДВС – электродвигатель», а также ведут работы по схемам «ДВС - гидропривод» и «ДВС – пневмопривод».

Предварительные расчёты показали, что расход топлива (бензина) при использовании схемы «ДВС – пневмопривод» составляет примерно 2-2,5 литра на 100 километров пути, что позволяет существенно снизить выбросы вредных отработанных газов в атмосферу, уменьшить расход топлива и повысить экономичность транспортного средства.

В настоящее время отсутствует эффективный пневматический привод, который можно было бы использовать для создания транспортных средств и поэтому задача его создания является весьма актуальной. В соответствии с этим целью данной работы является разработка и испытание пневмопривода каждого колеса для самоходного шасси. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Спроектировать пневмопривод для каждого колеса самоходного шасси.
- 2) Разработать систему управления пневмоприводами.

Пневмодвигатель, который в настоящее время недооценён, имеет множество достоинств, среди которых такие как:

- 1) экологичность;
- 2) малый вес и габариты;
- 3) простота конструкции и технического обслуживания;
- 4) пожаро- и взрывобезопасность;
- 5) большой срок службы.

Но у него также есть и существенный недостаток – низкий КПД, так как энергия сначала используется для сжатия воздуха, а затем передается двигателю.

Анализ литературных источников показал, что существует множество конструкций пневматических приводов, и они широко используются в различных отраслях, например шуруповёрты, гайковёрты и т.д. Их основными недостатками являются сложность изготовления, низкий крутящий момент и общая несбалансированность системы. Но для транспортного средства был необходим привод, который бы обеспечивал высокий крутящий момент с начала подачи сжатого воздуха в него. Это можно достичь за счёт использования в его конструкции пневмоцилиндров.

Конструкция такого пневматического привода была разработана в ходе выполнения работы, схема которой представлена на рис. 1.

Принцип работы пневматического привода рассмотрим на примере одного цилиндра. При вращении приводного вала поршень начинает перемещаться вправо, выталкивая воздух через выпускной клапан. При достижении правой «мертвой»

точки выпускной клапан закрывается и открывается клапан подачи сжатого воздуха в рабочий цилиндр. Под действием давления сжатого воздуха рабочий поршень начинает движение влево. В результате приводная втулка начинает вращаться вместе с валом. После достижения поршнем крайнего левого положения впускной клапан закрывается. На этом полный цикл работы одного цилиндра заканчивается.

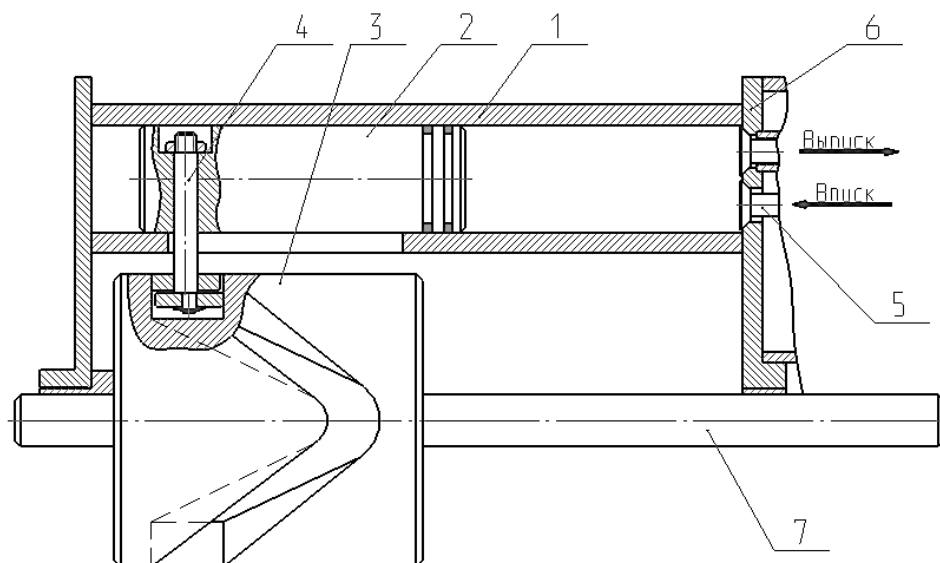


Рисунок 1 - Схема работы одного из цилиндров пневмопривода: 1 – рабочий цилиндр, 2 – поршень с уплотнительными кольцами, 3 – приводная втулка, 4 – ось с роликами, 5 – клапаны, 6 – корпус, 7 – приводной вал

Каждый цилиндр имеет две «мертвые» точки, для выхода из которых требуется механическое воздействие. В двигателях внутреннего сгорания для их прохождения используют маховик. В предлагаемой конструкции пневматического привода маховик не требуется, так как поршни четырех цилиндров из восьми совершают рабочий ход, под воздействием сжатого воздуха, вращая приводную втулку вместе с приводным валом, выводя остальные четыре цилиндра из данного положения.

Для испытания пневмоприводов было спроектировано экспериментальное шасси, которое представляет собой сварную раму с жесткозакрепленными на ней пневматическими приводами. Экспериментальный образец пневмопривода представлен на рис. 2.

Питание сжатым воздухом пневмоприводов осуществляется из баллона объемом 50 л. через систему управления движением шасси, которая обеспечивала только прямолинейное или реверсивное движение.



Рисунок 2 – Экспериментальный пневмопривод в сборе с колесом

Испытания показали, что самоходное шасси с разработанной системой пневматического привода каждого колеса работоспособно и позволяет перевозить полезный груз массой до 150 кг. Для устранения недостатков, выявленных в ходе испытаний, необходимо доработать конструкцию пневмоприводов, разработать систему управления самоходным шасси, которая бы обеспечивала изменение направление движения по направлению движения, а также спроектировать гибридную силовую установку для обеспечения самоходного шасси сжатым воздухом в процессе эксплуатации.

В.В. Загороднов, инженер

Отдел автоматизации СКРУ-1 «ОАО Уралкалий» (Соликамск)

В.Ф. Беккер, кандидат технических наук, профессор
Березниковский филиал Пермского национального
исследовательского политехнического университета

СНИЖЕНИЕ РИСКА ЗАТОПЛЕНИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В СОЛЯНЫХ РУДНИКАХ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЗАЦИИ

Выполнен анализ основных рисков затопления насосных станций, рассмотрены способы снижения этих рисков техническими и программными средствами автоматизированной системы управления на базе взрывозащищенного контроллерного оборудования компании «ДЭП».

The analysis of the main risks of flooding pumping stations, considered ways to reduce the risks of hardware and software of the automated control system based on a controller explosion-proof equipment company "DEP".

Ключевые слова: насосная станция, автоматизация, система управления.

Keywords: pumping station automation control system.

Актуальность данной работы обусловлена низким уровнем автоматизации на участках гидрозакладки в рудниках ОАО «Уралкалий». Необходимо установить основные причины риска затопления насосных станций и найти способы снижения этого риска. В связи с присутствием человеческого фактора существует вероятность аварийного затопления насосных станций в случаях переполнения рассолоборников. В последнее время имеют место случаи перегорания обмоток двигателей насосов, влекущие за собой материальные затраты на замену двигателей, а так же просто оборудования, которые в отсутствие оперативных действий персонала тоже могут привести к затоплению. Для минимизации этих рисков рассмотрены ряд способов решения, выявлены достоинства и недостатки каждого из них, а так же выбрано наиболее целесообразное решение – создание автоматизированной системы управления на базе взрывозащищенного контроллерного оборудования компании «ДЭП» серии ExA9.

В настоящее время уровни жидкости в рассолоборниках насосных станций контролируются с помощью ультразвуковых уровнемеров FMU-40, сигналы кото-

рых выведены для просмотра к диспетчеру рудника и не участвуют в схемах управления насосов.

Перегорание обмоток двигателей насосов связано с повышением их температуры, которое может быть вызвано несколькими причинами. Одной из таких причин является так называемый «сухой ход» – это режим работы насоса, во время которого через насос не прокачивается жидкость. При работе в таком режиме может произойти заклинивание вала насоса и перегрев обмоток электродвигателя, а так же выход из строя самого насоса. Так же причиной перегрева могут быть повреждения подшипников двигателя, которые вызывают повышенный момент на валу. В данный момент в качестве методов предупреждения таких ситуаций применены релейные схемы, контролирующие давление в трубопроводе на выходе насоса, а так же температуру подшипников двигателя.

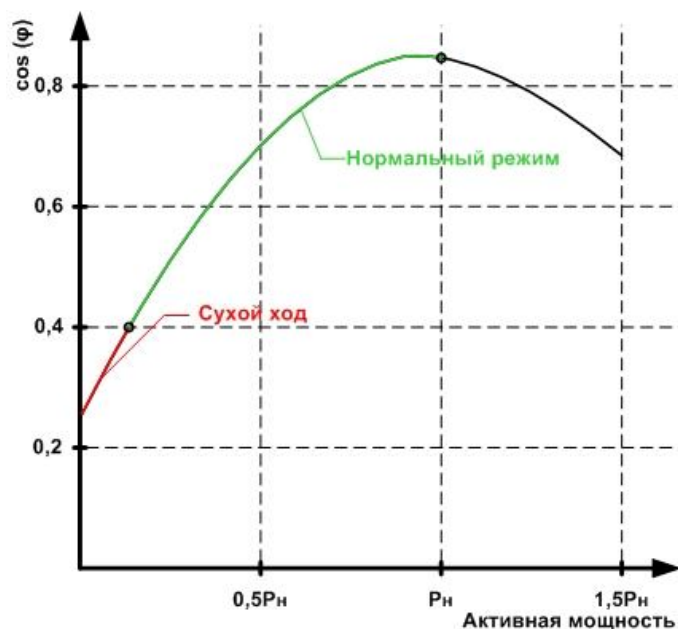
Схема, контролирующая давление в трубопроводе, состоит из блока питания и электроконтактного манометра (ЭКМ), отключающего коммутационное устройство, подающее напряжение на двигатель. При снижении давления ниже заданного порога контакт ЭКМ размыкается и отключает коммутационное устройство. Во время пуска контакт шунтируется кнопкой. Недостатком этого способа защиты является неэффективность его применения в центральных насосных станциях (ЦНС), так как на выходе из насоса всегда имеется давление, создаваемое столбом жидкости в трубопроводе шахтного ствола. Разница между этим давлением и рабочим давлением незначительна.

Для контроля температуры подшипников двигателей применена схема, состоящая из датчиков температуры, преобразователя токового сигнала ОВЕН 2ТРМ1, промежуточного реле и блока питания. При повышении температуры выше заданного значения, преобразователь включает реле, которое своими контактами отключает коммутационное устройство и остаётся в таком положении пока не будет произведён сброс аварии кнопкой по месту. К недостаткам данного способа нужно отнести то, что контролируется только температура подшипников, а не самих обмоток.

Контроль токовых нагрузок обеспечивается встроенной защитой в коммутационных аппаратах, включающих двигатели насосов.

В качестве дополнительной защиты насоса от «сухого хода» применено реле контроля коэффициента мощности. В режиме «сухого хода» насос не перекачивает жидкость, при этом электродвигатель перестает выполнять полезную работу, работает без нагрузки. При этом коэффициент мощности ($\cos\phi$) резко уменьшается до значения 0,25...0,4. Уменьшение коэффициента мощности электродвигателя является показателем того, что насос работает в режиме «сухого хода» [1]. На рисунке

видно как изменяется значение коэффициента мощности при работе насоса в нормальном режиме и в режиме «сухого хода».



Зависимость коэффициента мощности от режима работы насоса

В ходе информационного поиска выявлено, что реле коэффициента мощности не имеют сертификатов на использование во взрывоопасных условиях. Вследствие этого их применение в рудниках опасных по газу и пыли невозможно. Найти информацию о программируемых реле контроля тока во взрывозащищенном исполнении так же не удалось. Тем не менее, такие решения могут оказаться эффективными там, где не требуется взрывозащищенное оборудование (например в насосных станциях, находящихся на поверхности).

Учитывая всё выше сказанное, очевидно, что наиболее подходящим способом предотвращения угрозы затопления ЦНС и участковых насосных станциях (УНС) является переход от использования отдельных релейных схем защиты к комплексной обработке данных с применением контроллерного оборудования. В качестве такого решения рассматривалось взрывозащищенное контроллерное оборудование компании «ДЭП» серии *ExA9*. Такая система способна и должна обеспечивать:

- контроль, регистрацию, сигнализацию и защиту по температуре подшипников насосов ЦНС и УНС;
- контроль, регистрацию и сигнализацию по давлению рассола на выходах из УНС;

- контроль, регистрацию и сигнализацию по расходу рассола в трубопроводах на выходах из УНС, на входах и выходах в ЦНС;
- контроль, регистрацию и сигнализацию по уровню рассола в промежуточных сообщающихся баках и рассолосборниках УНС и ЦНС.
- управление насосами ЦНС и УНС и насосами главного рассолосборника [3].

Для начала работ по автоматизации УНС и ЦНС необходимо выполнить следующие условия:

1. Установить на задвижки на входах и выходах с насосов электроприводы, а так же пусковую аппаратуру для них (пускатели типа ПРА).
2. Для заливки баков установить в рассолосборниках насосы «Гном», пусковое оборудование для них (пускатели типа ПВИ), а так же датчики уровня в баках.
3. На всех насосах должны быть установлены датчики температуры для контроля температуры подшипников [2].

Для осуществления работ предложены приборы и средства автоматизации:

- 1) для измерения температуры – термопреобразователь сопротивления типа ТСМ-0879 или аналогичный;
- 2) для измерения давления в трубопроводе преобразователь давления измерительный АИР-20, изготовитель – НПП «Элемер», Россия;
- 3) для измерения расхода – расходомер электромагнитный фланцевый типа *Promag 50*, выходной сигнал 4 ... 20мА, питание 24 В, фирмы «*Endress+Hauser*», Германия;
- 4) для измерения уровня в рассолосборнике – уровнемер ультразвуковой *FMU40*, изготовитель – «*Endress+Hauser*», Германия. Предельный верхний уровень рассола назначают ниже верхней кромки рассолосборника на 0,5 м, а предельный нижний уровень рассола – выше торца всаса на 0,5 м, но не ниже 3,7 м от оси насоса [2];
- 5) для контроля наполнения заливных баков – сигнализаторы уровня СКАТ-5М либо аналогичные приборы других производителей;
- 6) для предупредительной предупусковой сигнализации, а так же в качестве средства голосовой связи – пульт громкой связи ПГС-005D, изготовитель – компания «ДЭП».

Комплекс технических средств системы автоматизации, управления и контроля размещается с учетом выполнения технических требований по условиям производственной среды, а так же обеспечения нормального обслуживания оборудования и аппаратуры [3].

Главной целью автоматического управления насосными станциями является поддержание в заданных пределах уровня рассолов в рассолосборнике.

С целью предупреждения возможного затопления по данным уровнемеров и параметров рассолосборника определяют:

а) темп заполнения рассолоборника $V_{\text{т}}$, м³, равный объему увеличения в нем объема рассола за час:

$$V_{\text{т}} = V_{\text{к}} - V_{\text{н}},$$

где $V_{\text{к}}$ – объем рассола в рассолоборнике в конце каждого часа по показаниям уровнемера, м³; $V_{\text{н}}$ – объем рассола в рассолоборнике в начале каждого часа по показаниям уровнемера, м³;

б) угрозу заполнения рассолоборника Y :

$$Y = (V_{\text{max}} - V_{\text{к}}) / (V_{\text{т}} * T_{\text{л}}),$$

где V_{max} – максимальный объем рассолоборника, м³; $T_{\text{л}}$ – время, необходимое для принятия мер по ликвидации угрозы заполнения, ч.

В случае если значение $Y < 1$, угроза заполнения существует [2].

Объем рассолоборников по мере эксплуатации уменьшается из-за заиливания. По этой причине в программе контроля интенсивности заполнения рассолоборника должна быть предусмотрена возможность корректирования объема рассолоборника [2]. В случае, если после нормативного запуска уменьшилась подача насоса, оператор гидрозакладочной установки немедленно дает команду на включение резервного насоса [2].

Для обеспечения надежной работы насоса ведут учет работы насоса в часах, следят за температурой подшипника. Нарботку в часах ведут от момента ввода в эксплуатацию и от момента ремонта [2].

Превышение глубины всоса ведет к кавитационному износу насоса. С целью исключения работы насоса в кавитационном режиме для каждой насосной устанавливают предельную глубину всоса и выносят ее на показания уровнемера [2].

Применение контроллерного оборудования компании «ДЭП» серии *ExA9* позволит повысить надежность и достоверность показателей информации о ходе технологического процесса, уменьшить время реакции на аварийные ситуации, повысить технико-экономические показатели работы оборудования, а так же будет способствовать улучшению условий работы и повышению эффективности труда обслуживающего персонала.

Список литературы

1. Защита насоса от «сухого хода»: электродвигатель как датчик: [Электронный ресурс]. URL: http://www.poligon.info/content/articles/dry_run_protection.php. (Дата обращения: 17.12.2013).
2. Технологический регламент на закладочные работы в рудниках ОАО «Уралкалий» / Утв. гл. инженер ОАО «Уралкалий» Е.К. Котляр 5.02.2013 Пермь-Березники, 2013. 50 с.

3. Проектная документация АСУ гидрозакладочного комплекса рудника СКРУ-1 ОАО «Сильвинит». Т. 3. Техническое обеспечение. Пояснительная записка/ ОАО «Уральский научно-исследовательский и проектный институт галургии». ОАО «Сильвинит» Соликамское калийное рудоуправление №1. / Директор проектной части В.В. Ванк. Главный инженер проекта Д.В. Поповичев. Пермь, 2011. 23 с.
4. *Затонский А.В.* Моделирование технологического участка обогатительной фабрики в пакете MATLAB // Обогащение руд. 2014. № 4 (352). С. 49-54.
5. *Ерыпалова М.Н., Беккер В.Ф., Затонский А.В., Кирин Ю.П.* Влияние нестационарности объекта управления на параметры установившихся автоколебаний // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2008. № 4. С. 50-57.

А.И. Рожков, кандидат технических наук

А.В. Дёмин, кандидат технических наук

О.М. Грудницкий, инженер-технолог

В.В. Николаев, инженер-технолог

А.В. Феклистов, инженер-технолог

А.Н. Пайташ, инженер-технолог

Центральная заводская лаборатория,
Белорусский металлургический комбинат (Жлобин, Берарусь)

К ВОПРОСУ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛИ 1.2746, EN ISO4957 ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НОЖЕЙ ДЛЯ РУБКИ МЕТАЛЛОЛОМА

В статье приведён сравнительный анализ стойкости ножей из различных марок сталей, в зависимости от вида перерабатываемого лома.

The article gives a comparative analysis of resistance blades from different ma rock steels, depending on the type of recycled scrap.

Ключевые слова: ножи для рубки металлолома, стойкость ножей, стали марки 1.2746 и 30XСНВФА, пресс-ножницы.

Keywords: knives for cutting metal, resistance knives, steel grade 1.2746 and 30HSNVFA, shears.

Сталь 1.2746, EN ISO4957 находит все большее применения для изготовления ножей для рубки металлолома. Производители сообщают, что ножи из стали 1.2746 отличаются большей износостойкостью на 30-50% по сравнению с ножами из традиционной стали 30XСНВФА в зависимости от перерабатываемого лома. Испытания, проведенные на ОАО «Белвторчермет» на нескольких типах ножах подтвердили данный факт.

Аналогичные испытания были проведены в копровом цеху Белорусского металлургического завода на двух пресс-ножницах РС-1200. Сначала была испытана опытная партия из 16 ножей (два комплекта), затем – 24 ножа. Так же были испытаны ножи из стали марки 30XСНВФА различных производителей, и ещё из двух марок сталей. Полученные результаты приведены в таблице.

Как видно из таблицы, стойкость ножей из стали 30XСНВФА очень сильно отличается у различных производителей. Даже у одного производителя, стойкость

ножей за год упала с 10 000 тонн до 1 500 тонн, после чего мы отказались от его услуг.

Результаты испытания ножей

Данные о ножах	Стойкость ножей		Производительность ножниц, тонн/час	Количество ножей испытанных/поломанных
	час	тонн		
сталь 1.2746 (опытная партия)	970	12 616	13	16/0
сталь 1.2746 (опытно-промышленная партия)	756,6	16 688	22	24/0
сталь 30XCHVФА	1 006,9	16 611,5	16,5	16/1
сталь 30XCHVФА	551	12 331	24,14	16/1
сталь 30XCHVФА	н.д.	10 000- 1 500	от 13 до 25	н.д.
Марка стали неизвестна	365,75	8 829,7	24	16/5
сталь 5X2MНФ (Ди-32)	487	6 334	13	8/8

Стойкость лучших ножей из стали марки 30XCHVФА оказалась на уровне ножей из стали 1.2746, EN ISO4957. Однако по косвенным признакам, прочность ножей из стали 1.2746, EN ISO4957 выше, чем из стали 30XCHVФА. За два этапа, в общей сложности, было испытано 40 ножей из стали 1.2746, EN ISO4957, при этом ни один из них не лопнул. За время испытаний дважды попадался негабаритный металлолом. Первый раз это привело к тому, что были сломаны болты, держащие нож. Во втором случае, рабочая кромка была стерта на несколько сантиметров, но нож не треснул (см. фото). Столь высокая прочность оказывается даже излишней. Как известно, нож должен быть самым слабым звеном, что бы в случае попадания негабаритного лома, сломался нож, а не ножницы. Замена ножа гораздо проще и быстрее, чем высверливание остатков болтов, изготовление и установка новых.

По нашему мнению, похожие стойкости ножей из сталей 1.2746, EN ISO4957 и 30XCHVФА объясняются тем, что металлом, который рубится на ножницах РС-1200 в копровом цеху Белорусского металлургического завода относительно небольшой. В Белорусской металлургической компании металлолом сначала рубится на ОАО «Белвторчермет». Затем поступает на Белорусский металлургический завод, где более крупный рубится на пресс-ножницах РС-1800 «Оберлендер», а помельче - на пресс-ножницах РС-1200. Так мелко металлолом рубится для получения высокой насыпной плотности, с целью шихтовки дуговых сталеплавильных печей двумя корзинами.

Так же на пресс-ножницах РС-1200 не было случая, когда ножи пришлось бы снимать по причине усталости металла после работы всего на трёх кромках, что говорит о том, что металлолом относительно небольшой.



Рабочая кромка ножей

Помимо технических нюансов, есть ещё экономические. Ножи из стали 30ХСНВФА, имеющие самую высокую стойкость, делают на ОАО «Кобринский инструментальный завод «СИТОМО», входящий в состав холдинга «Белорусская металлургическая компания», поэтому часть стоимости изготовления ножей остаётся внутри компании.

Таким образом, сфера применения стали 1.2746, EN ISO4957 ограничивается переработкой крупного металлолома. Для рубки относительно мелкого металлолома, экономически выгодно использовать сталь 30ХСНВФА.

А.В. Дёмин, кандидат технических наук

А.И. Рожков, кандидат технических наук

О.М. Грудницкий, инженер-технолог

В.В. Николаев, инженер-технолог

А.В. Феклистов, инженер-технолог

Центральная заводская лаборатория,
Белорусский металлургический комбинат (Жлобин, Берарусь)

ПОИСК СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ ПЫЛИ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ НА БЕЛОРУССКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ЗАВОДЕ

В статье рассматривается возможность утилизации пыли дуговых сталеплавильных печей в месте их образования – в дуговых сталеплавильных печах.

The possibility of recycling EAF dust at source – in electric arc furnaces.

Ключевые слова: пыль дуговых сталеплавильных печей, углерод, процесс восстановления, шлак, вдувание, цинк.

Keywords: EAF dust, carbon, the process of recovery, slag, blowing, and zinc.

В процессе выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах (в дальнейшем – ДСП) образуется отход производства четвёртого класса опасности – пыль. Она представляет мелкодисперсный порошок, её химический состав – набор оксидов различных элементов. Поэтому почти все способы утилизации пыли – восстановление оксидов с целью их дальнейшего использования.

Тепловые технологии обработки печной пыли основаны на высокотемпературном карботермическом восстановлении выбранных окисей металлов, присутствующих в пыли. Основные цели данных технологий заключаются в создании безвредного утилизируемого шлака и восстановлении ценных металлов с минимальными производственными издержками. При тепловой обработке пыли углеродсодержащий восстановитель добавляется для восстановления оксидов цинка и свинца в пыли, а также для минимизации восстановления окисей железа. Преимущество такого селективного восстановления заключается в экономии углерода и энергии и

образовании меньшего количества окиси углерода. Кроме этого требуется меньшая система подачи газа, а более низкие объемы выделения газа предполагают уменьшение уноса исходных материалов. Однако для получения на газовой фазе достаточно высокого отношения CO к CO₂ для предотвращения избыточной обратной реакции двуокиси углерода с парами цинка, определенное восстановление металлического железа требуется при конденсации цинка.

Расчет идеального состояния равновесия на основе минимизации свободной энергии многокомпонентной и многофазной системы был произведен с помощью компьютерной программы Mintek Pyrosim для моделирования процесса переплавки пыли сталеплавильного процесса. Моделирование проводилось при фиксированной температуре 1 500°C и давлении 1 атм.

На рис. 1–4 показаны результаты термодинамического моделирования типичной электродуговой печной пыли с высоким содержанием цинка. При введении углеродной добавки в количестве 75 кг на тонну печной пыли большая часть цинка удаляется из шлака и теоретически производится очень небольшое количество железа (рис. 1 и 2). Извлеченный цинк переходит в газовую фазу, содержащую примерно 50% цинка, 30% окиси углерода и 5% двуокиси углерода (при объемном соотношении CO к CO₂, равном 10).

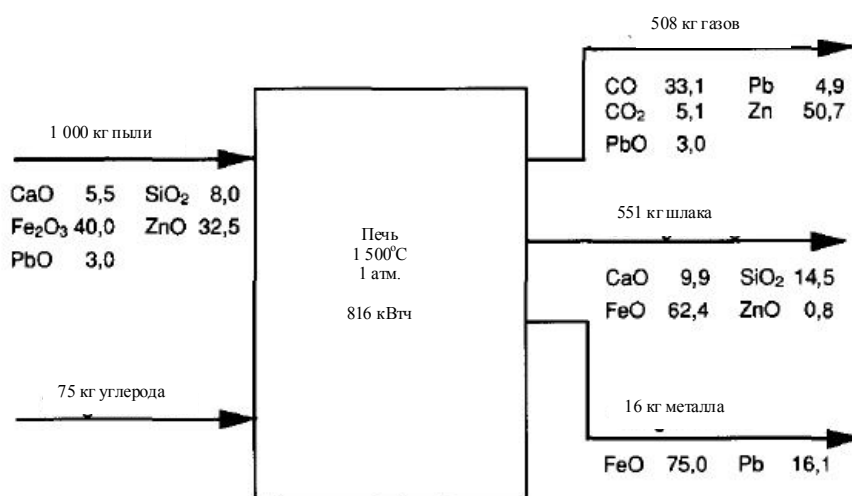


Рисунок 1 – Прогнозный материально-тепловой баланс для печной пыли с высоким содержанием цинка (все результаты анализа приведены в процентной концентрации по массе)

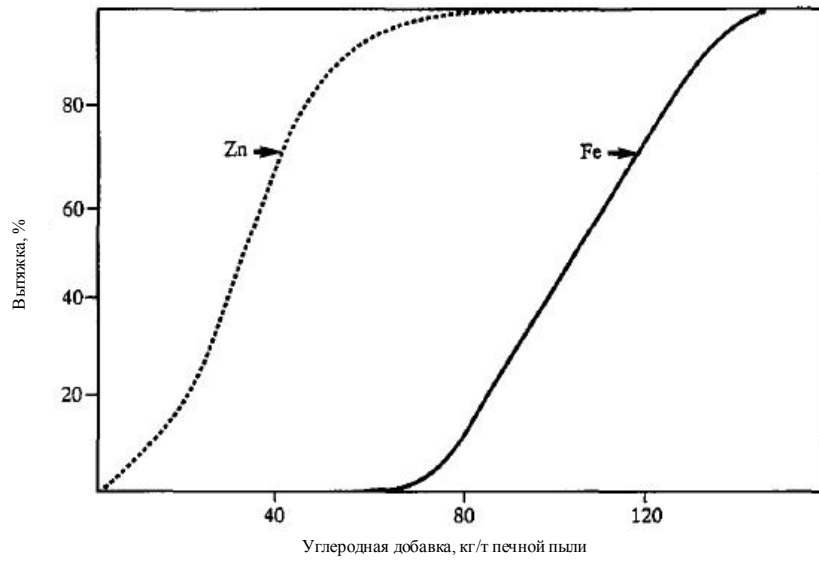


Рисунок 2 – Прогнозный расчет влияния углеродной добавки на вытяжку цинка и железа из пещной пыли с высоким содержанием цинка

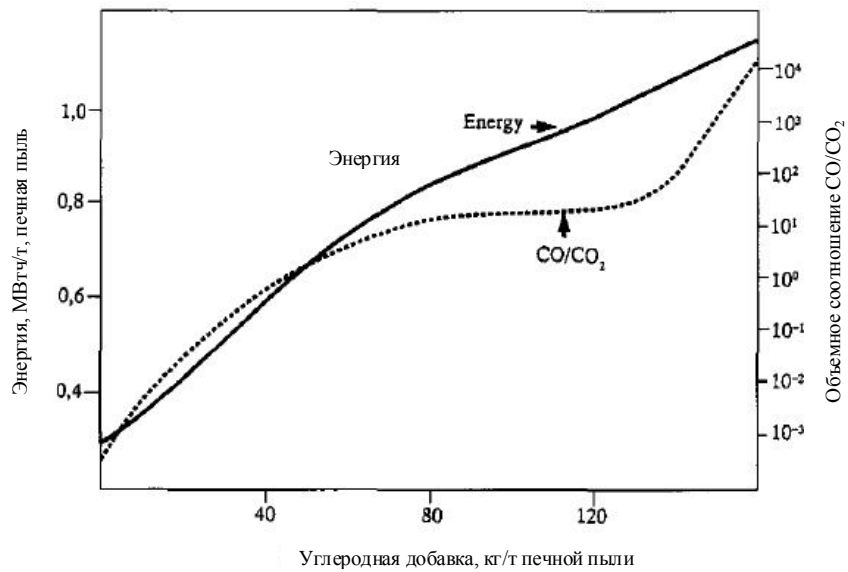


Рисунок 3 – Прогнозный расчет влияния углеродной добавки на потребление энергии и расход газа для пещной пыли с высоким содержанием цинка

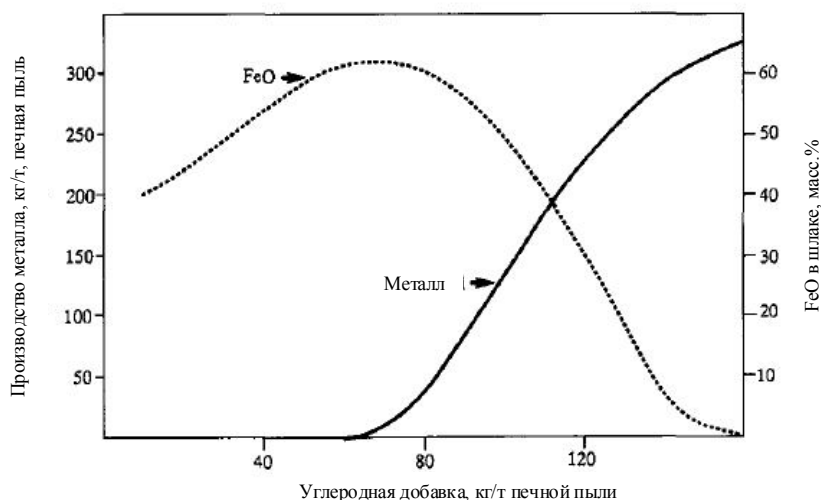


Рисунок 4 – Прогнозный расчет влияния углеродной добавки на производство металла и состав шлака для пепельной пыли с высоким содержанием цинка

При увеличении углеродной добавки с 75 до 150 кг на тонну пепельной пыли, теоретическая потребность в энергии увеличилась примерно с 0,8 до 1,1 МВт*ч на тонну пепельной пыли, а объемное соотношение CO к CO₂ в газах увеличилось примерно с 10 до 1 000 (рис.3). Кроме этого, увеличение углеродной добавки привело к уменьшению содержания окиси железа в шлаке примерно с 60 до менее 1 процента; при этом увеличилось количество готового металла с 16 до 310 кг на тонну пыли (рис. 4).

Когда цинк конденсируется из газовой фазы, температуру газа необходимо быстро уменьшить до уровня ниже 500°C с тем, чтобы минимизировать повторное окисление цинка двуокисью углерода. Кривые равновесия, представленные на рис. 5, показывают температуры, при которых повторное окисление начинается для другого объемного соотношения CO к CO₂ и другого парциального давления цинка в потоке газа. Например, при объемном соотношении CO к CO₂, равном 10, и парциальном давлении цинка в газе 0,3 атм, обратная реакция между цинком и двуокисью углерода в состоянии равновесия происходит при температуре ниже 1 000 °C. На практике удовлетворительного восстановления цинка можно добиться при объемном соотношении CO к CO₂ в отходящих газах, равном примерно 10, посредством быстрого охлаждения в цинковом или свинцовом конденсаторе с разбрызгиванием.

Когда пыль переплавляется при температуре 1 500°C, углеродная добавка в количестве 170 кг на тонну пыли требуется для вытяжки всех оксидов (рис. 6). Моделирование идеального равновесия показывает также, что теоретическая потребность в энергии составит примерно 1,1 МВт на тонну пыли, что значительно выше

энергии, необходимой для переплавки обычной печной пыли с высоким содержанием цинка (приблизительно 0,8 МВ*ч/т) [1].

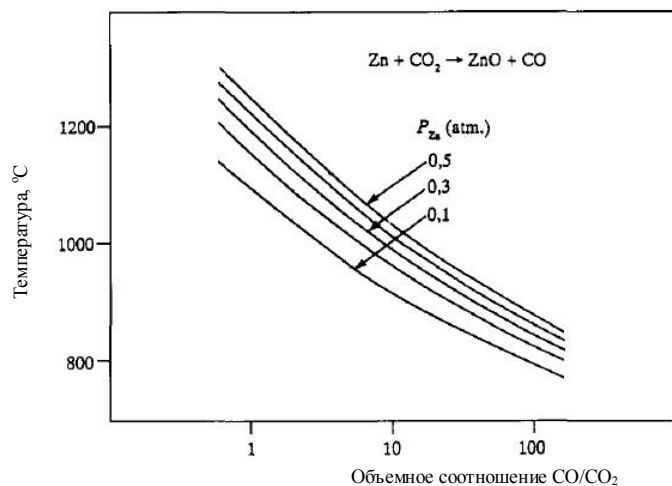


Рисунок 5 – Температура обратной реакции цинка с CO_2 для разных соотношений CO/CO_2 и парциального давления цинка в отходящих газах

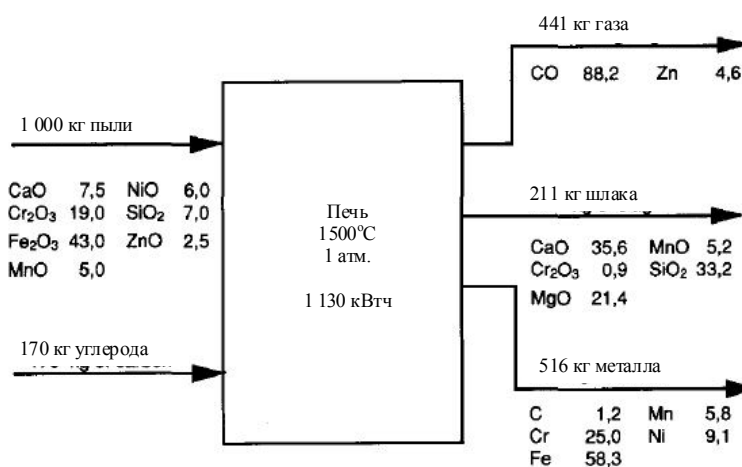


Рисунок 6 – Прогнозный материально-тепловой баланс для пыли из легированной стали (все результаты анализа приведены в процентной концентрации по массе)

С целью проверки возможности утилизации пыли, образующейся на Белорусском металлургическом заводе, в лабораторных условиях, были проведены следующие эксперименты: две пробы пыли смешали с науглероживателем типа С 3.14 (зольность 3,8%), в пропорции 80% - пыль, 20% науглероживатель, после чего на-

грели в тигельной печи до температуры 1 000 °С. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав пыли до и после её прокалки с науглероживателем

		Fe ₂ O ₃ , %	Al ₂ O ₃ , %	Cr, %	Mn, %	Pb, %	Zn, %	CaO, %	MgO, %	Ni, %	SiO ₂ , %	Cu, %
Проба № 1.	до	35,5	0,5	0,21	0,93	0,13	32,3	8,2	1,5	0,01	3,6	0,06
	после	48,3	0,8	0,22	1,13	0,07	26,3	7,9	1,5	0,01	5,8	0,09
Проба № 2.	до	27,9	2,3	0,22	1,8	0,34	21,3	14,5	4,1	0,02	6,5	0,14
	после	30,9	3,8	0,30	2,3	0,20	15,7	19,3	5,6	0,02	10,9	0,20

Как видно из табл. 1, в обоих случаях, после прокалки пыли с науглероживателем, содержание лёгкоплавких элементов – цинка и свинца уменьшилось, за счёт чего содержание практически всех остальных элементов увеличилось, что говорит о принципиальной возможности использования вышеописанного метода для утилизации пыли дуговых сталеплавильных печей, образующейся на Белорусском металлургическом заводе.

Опыты по утилизации пыли в месте её образования – в дуговой сталеплавильной печи

Описанные выше химические реакции можно осуществлять либо в специально предназначенных для этого установках, либо непосредственно в ДСП. Утилизация пыли в ДСП требует минимум капитальных затрат по сравнению со строительством специальных установок.

Утилизировать пыль непосредственно в ДСП можно двумя способами: с предварительным брикетированием, или вдуванием. Если, на Белорусском металлургическом заводе, в каждую плавку добавлять по одной - две тонны пыли, то можно утилизировать всю образующуюся пыль. Вместе с тем, у этого варианта есть недостатки: увеличение удельного расхода электроэнергии, снижение производительности ДСП.

Вдувание

Первые исследования по проверке идеи были проведены в Германии и Дании. Пыль и уголь поступали в смеситель, затем с помощью пневматической установки струей газа-носителя подавались на границу металл-шлак.

В печи в присутствии углерода при температуре сталеварения (1 600 °С) полностью обеспечиваются условия для восстановления железа с образованием его расплава и для быстрого восстановления и испарения цинка, т.к. цинк – легкоплавкий металл с температурой плавления 419,5 °С и температурой кипения 906 °С.

После 1–2 циклов пыль выводилась из системы печи и направлялась на заводы цветной металлургии. Балансовые плавки показали, что весь цинк вдуваемой пыли возгоняется и улавливается вновь.

В конце 90-х годов прошлого века рециклинг железо- и цинкосодержащих пылей инъекцией был внедрен на 100-т электродуговых печах компании «Ко Стил Ширнес» (процесс «Карбофер», Англия) и 140-т печах фирмы КЕР (Германия) (рис. 7).

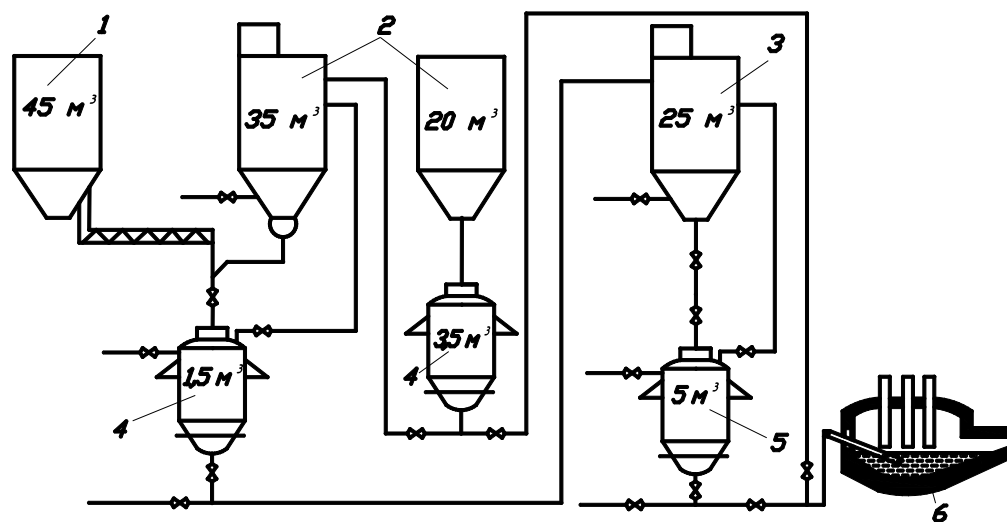


Рисунок 7 – Схема установки для вдувания цинкосодержащей пыли в ванну 140-т дуговой печи: 1 – пыль; 2 – уголь; 3 – смесь пыли и угля; 4 – дозатор; 5 – питатель; 6 – ДСП

На рис. 8–10 показаны схема и общий вид установки для вдувания пыли в ДСП промышленного исполнения.

Данный способ является наиболее реализуемым в условиях Белорусского металлургического завода. Пыль можно ввести в ДСП установкой вдувания углерода, которая есть на каждой печи. Этот метод не требует значительных затрат и может быть реализован на существующем оборудовании. Пыль ДСП содержит порядка 20% цинка. Анализ литературы показал, что в случае повторного вдувания, можно увеличить содержание цинка в пыли, что позволит реализовывать пыль, обогащённую цинком, цинковым заводам. На рисунке 11 показано увеличение концентрации

цинка и свинца при многократном вдувании пыли [2]. У Белорусского металлургического завода есть потенциальные потребители, готовые покупать пыль с содержанием цинка от 25% и выше.

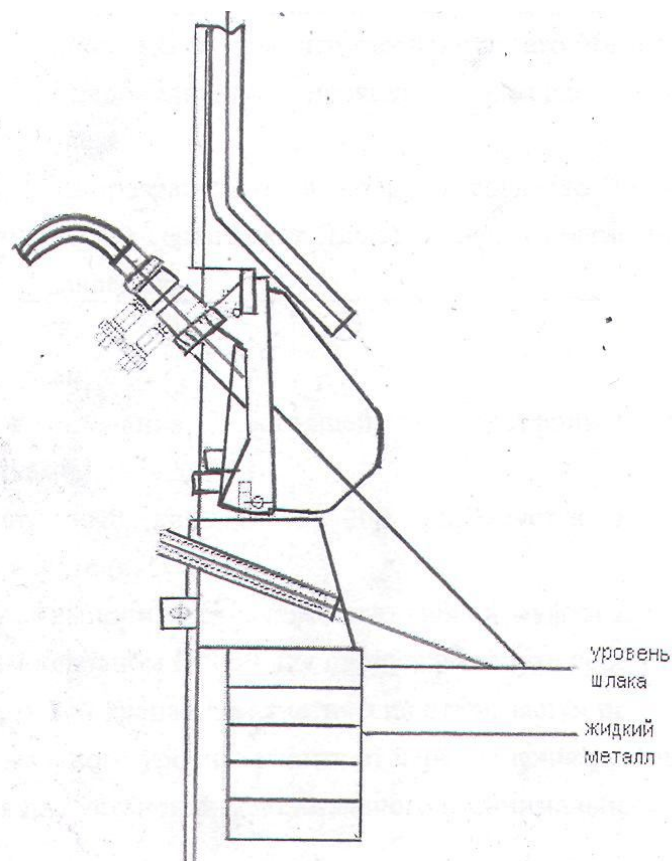


Рисунок 8 – Схема установки по вдуванию пыли в ДСП

Исследования технической возможности вдувания пыли в сталеплавильную печь проходили на ДСП-2. Смесь пыли с науглероживателем была загружена в один из трёх бункеров для вдувания науглероживателя в ДСП-2. В процессе эксперимента, смесь застревала в бункере и трубопроводе. Для её прохождения приходилось стучать по ним в течение всего времени испытаний.

В процессе эксперимента выяснилось, что из-за большого объёма вдуваемого кислорода, в печи образуется окислительная атмосфера, поэтому науглероживатель не взаимодействует с пылью, а окисляется. Из-за отрицательного результата, испытания были проведены всего на двух плавках. Поэтому начались опыты по брикетированию пыли с науглероживателем, о чём будет рассказано в третьей части статьи.

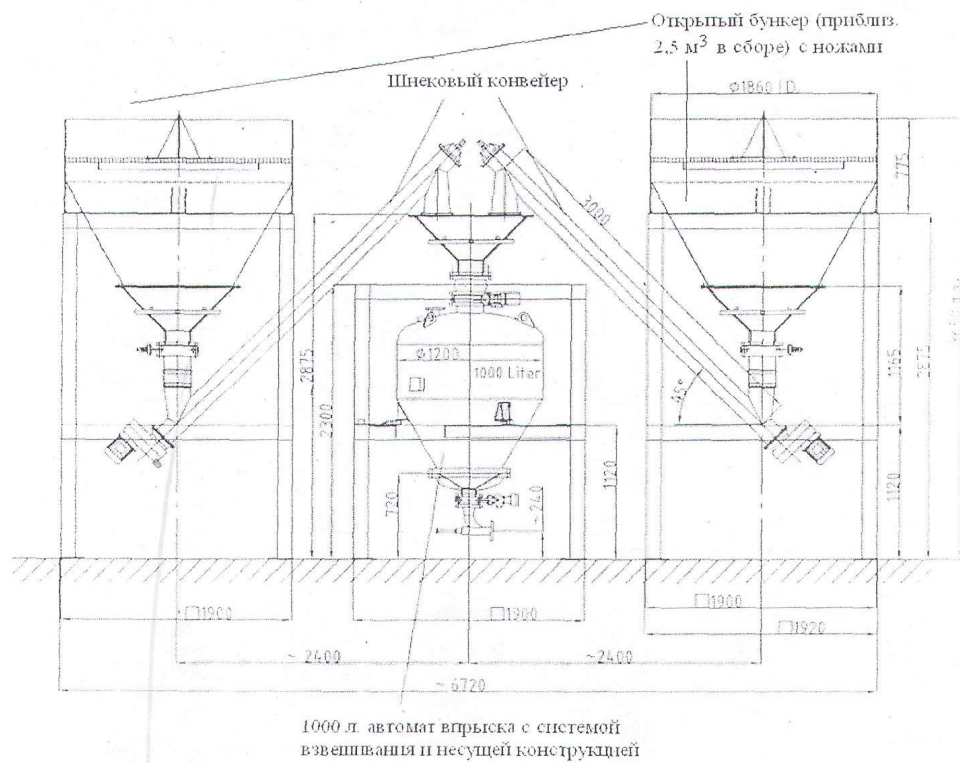


Рисунок 9 – Вид сбоку установки для вдувания пыли в ДСП

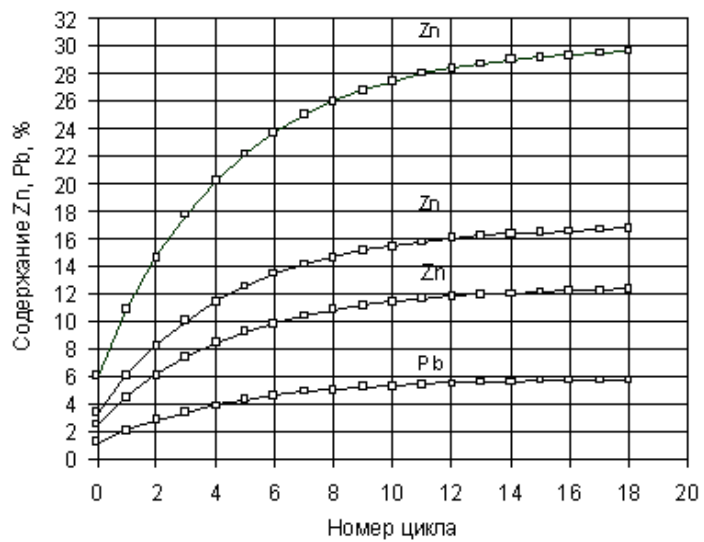


Рисунок 10 – Увеличение содержания цинка и свинца при рециклинге пылевыноса

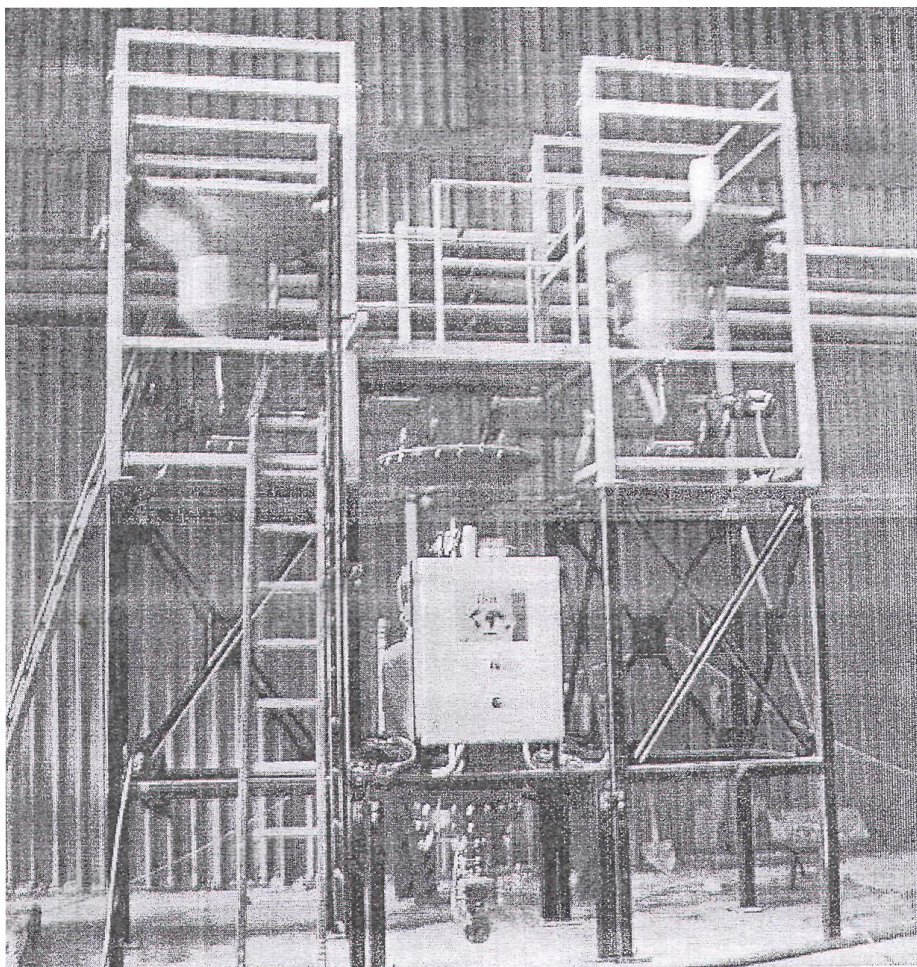


Рисунок 11 – Внешний вид установки вдувания пыли

Список литературы

1. Скоукенс А.Ф.С., Шоу Ф. Чемали Е.С. Технология Enviroplas для переработки пыли сталелитейного производства // Журнал Южноафриканского института горно-металлургической промышленности (SAIMM). 1993. Т. 93. № 1. С. 1–7.
2. Каширина А.О., Ростовский В.И. Утилизация цинксодержащих сталеплавильных пылей и шламов // URL: http://www.zdc.ru/publications/publications_8.html.

С.А. Пугач, главный инженер проекта
ООО «Спутник-Комплектация» (Пермь)
В.Ф. Беккер, кандидат технических наук, профессор
Березниковский филиал Пермского национального
исследовательского политехнического университета

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГРАНУЛЯЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛОРИДА КАЛИЯ

Рассматривается технология грануляции хлорида калия, выявлены параметры процесса, возмущающие и управляющие воздействия. Приведены рекомендации по созданию системы управления процессом.

The technology of granulation of potassium chloride, identified process parameters, disturbance and control actions. The recommendations for the establishment of a process control system.

Ключевые слова: грануляция, модель, оптимизация.

Keywords: granulation, model, optimization.

Современное производство калийных удобрений характеризуется высокими скоростями протекания технологических процессов, большими производственными мощностями и большим количеством факторов, от которых зависит качество, себестоимость и выпуск готовой продукции [1, 2].

Такое производство в себя следующие стадии:

- дробление (размол) руды;
- извлечение полезного компонента (хлорида калия) из руды на флотационной фабрике;
- удаление лишней влаги из хлорида калия в сушильном отделении;
- получение из мелкозернистого хлорида калия гранул определённого размера и прочности в грануляционном отделении с предварительным нагревом соли в отделении подогрева;
- дополнительная обработка гранул хлорида калия для повышения прочности и снижения пылимости в отделении облагораживания.

Рассмотрим объект автоматизации – грануляционное отделение, структура которого состоит из трёх параллельных аппаратурно-идентичных технологических ниток. Рассмотрим работу одной технологической нитки (рис.1). Прессование на-

гретого мелкозернистого хлорида калия происходит на валковых прессах с последующим дроблением спрессованной плитки, классификацией дробленого продукта и «облагораживанием» гранул. Нагретый хлорид калия по конвейерному тракту через элеваторы подается подпрессовщиками (шнеками) на два параллельно работающих валковых пресса. Затем спрессованный материал (плитка) подвергается дроблению в дробилках. Раздробленная масса проходит грохоты, на которых мелкий продукт отсеивается и подается снова на прессование. Надрешетный продукт поступает с грохотов на дробление. Измельченный продукт идет на скребковые конвейеры, а затем перегружается на ковшовые элеваторы. С элеваторов продукт поступает на просеивающие машины. На просеивающей машине установлены многокаскадные сита, разделяющие продукт на три фракции: мелкую, товарную, крупную. Распределение гранул по размеру зависит от технологических режимов прессования и последующего дробления. Подрешетный продукт нижнего каскада сит – ретур – возвращается элеваторами и конвейерами в начало технологического процесса. Особо крупные гранулы подаются снова на дробление и классификацию.

Готовый продукт крупностью 2 ... 4 мм либо подается на установку «облагораживания», либо, минуя цикл облагораживания, поступает на склад готового продукта.

Существующая система автоматизации технологической нитки построена на базе контроллера SIMATIC S7-300 и операторских станций со SCADA-системой WinCC v.6.2. Управление технологической ниткой осуществляется оператором в ручном режиме. В автоматическом режиме работают только регуляторы зазора валковых прессов.

В качестве критерия оптимальности работы (и соответствующей постановки оптимального управления грануляционным отделением) с учетом [3] могут быть приняты:

1. выход продукта с нитки K_1 – задача оптимизации $K_1 \Rightarrow \max$, кг/ч;
2. количество продукта в ретуре нитки (т.е. количество вхолостую циркулируемого продукта) K_2 – задача оптимизации $K_2 \Rightarrow \min$, кг;
3. качество выпускаемого продукта – отклонение среднего размера гранулы от заданного ее размера K_3 – задача оптимизации $K_3 \Rightarrow \min$, мм.

Указанные критерии K_1 , K_2 , K_3 являются функциями параметров технологического режима: стабильности подачи материала на прессование F и температуры прессования T .

$$K_1 = f_1(F, T), K_2 = f_2(F, T), K_3 = f_3(F, T).$$

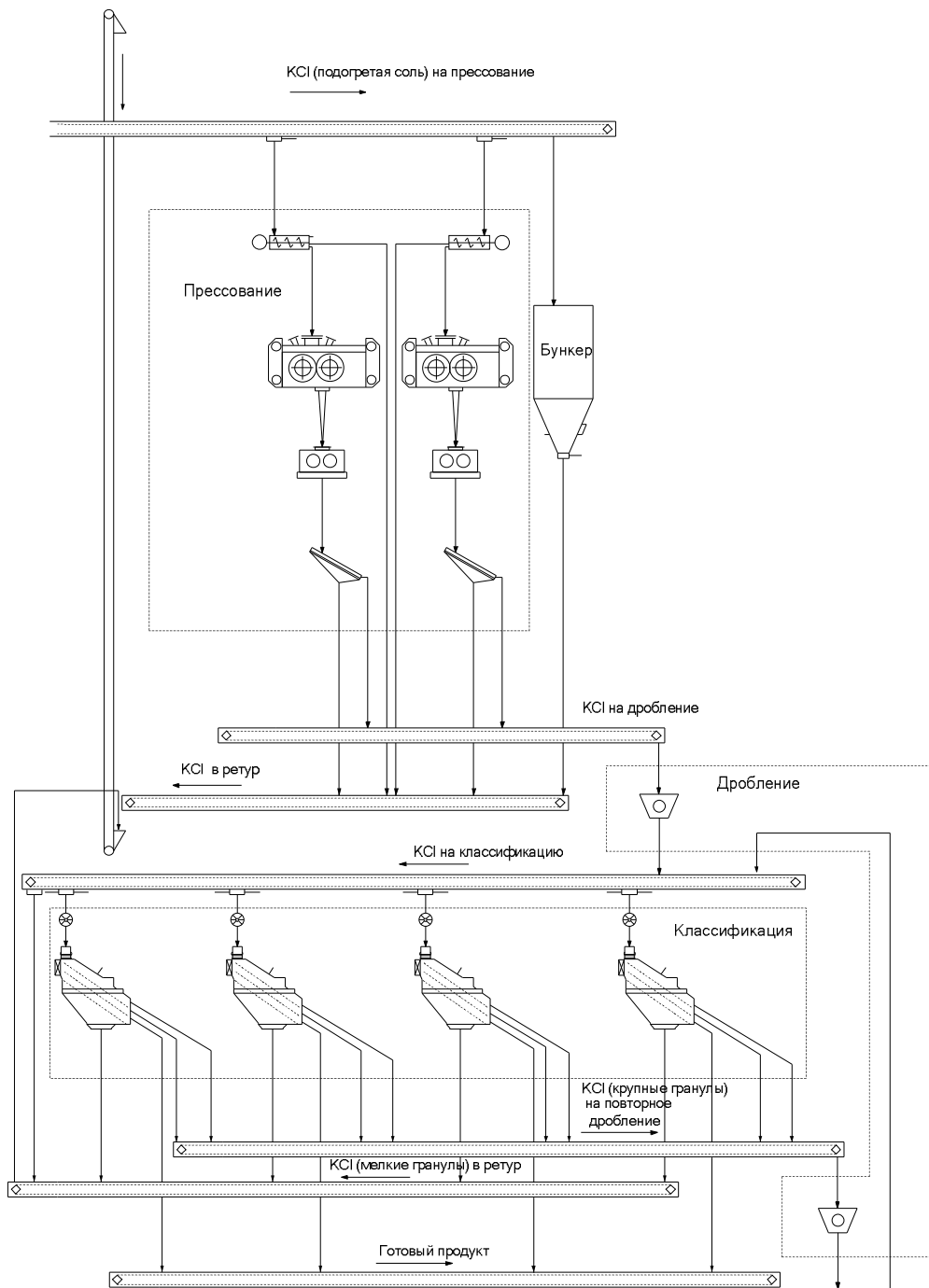


Рисунок 1 – Упрощенная схема работы одной технологической нитки отделения грануляции флотационной обогатительной фабрики

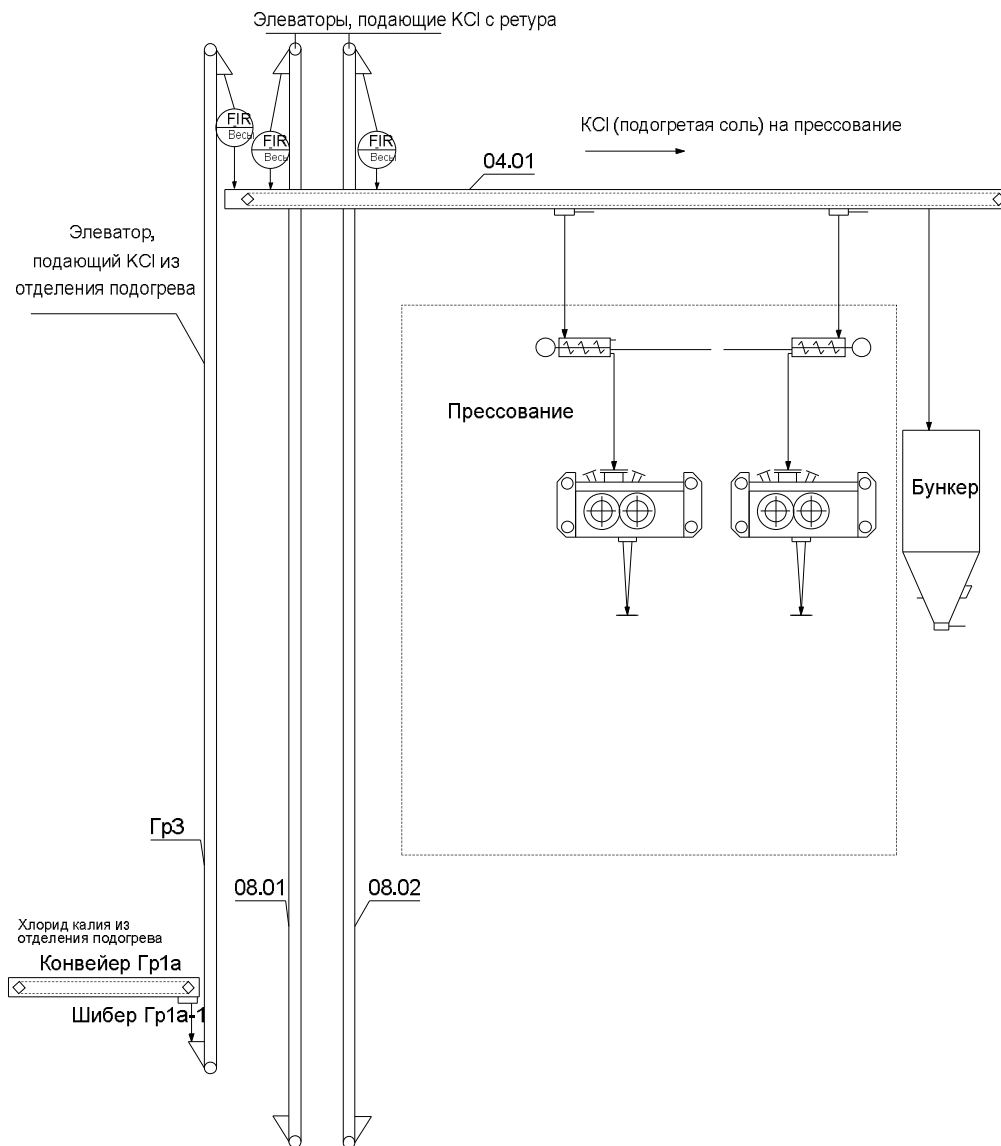


Рисунок 2 – Автоматическая стабилизация подачи материала на прессование

Задача оптимального управления формулируется в виде одного аддитивного показателя K через весовые коэффициенты каждого из частных критериев K_1 , K_2 , K_3 .

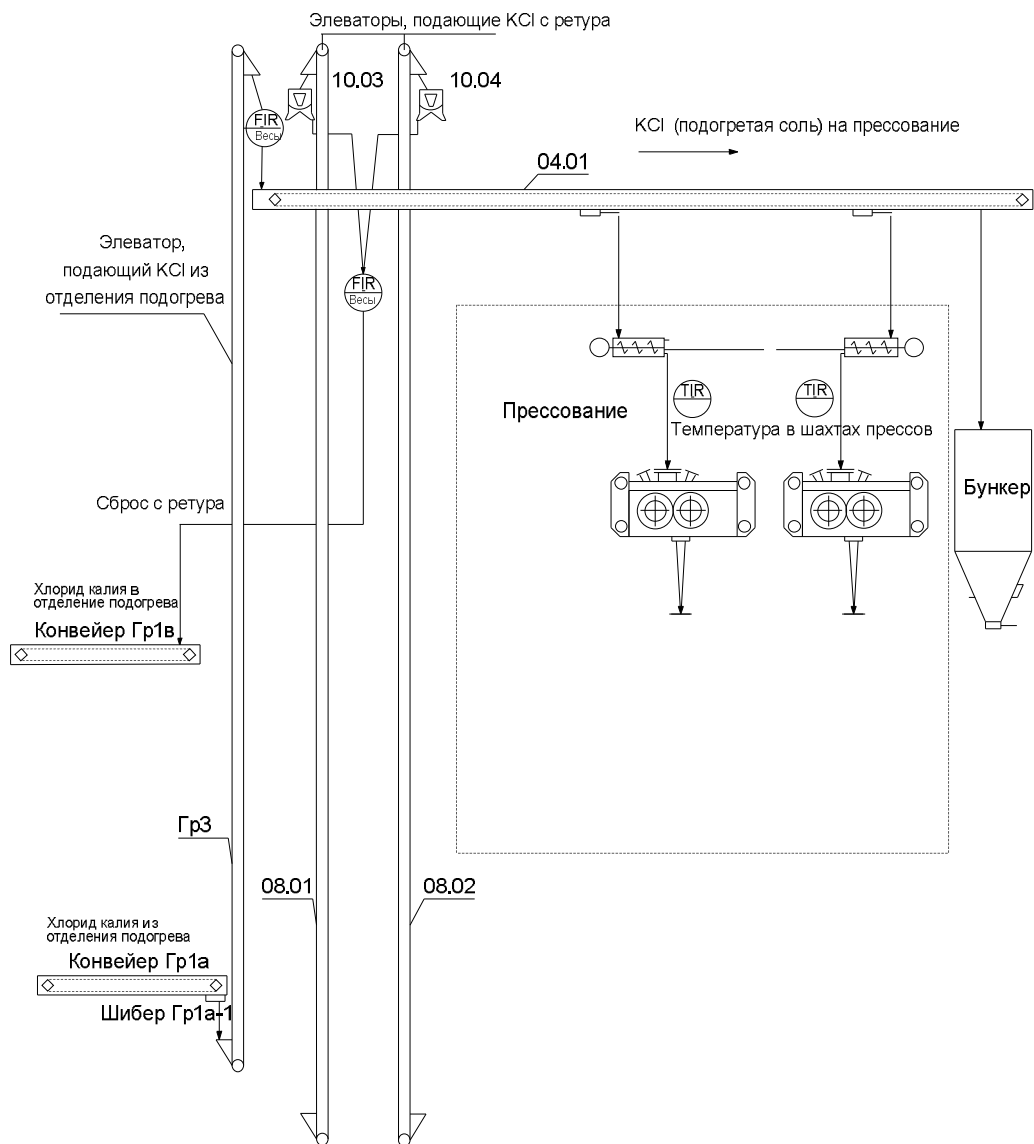


Рисунок 3 – Поддержание оптимальной температуры прессования

$$K(F, T) = \frac{\alpha_1}{K_1(F, T)} + \alpha_2 K_2(F, T) + \alpha_3 K_3(F, T),$$

где α_1 , α_2 , α_3 , – некоторые весовые коэффициенты.

Задача оптимизации приобретает следующий вид:

$$K(F, T) \Rightarrow \min_{F, T} K(F, T) \Big|_{\substack{F_{\min} < F < F_{\max} \\ T_{\min} < T < T_{\max}}}$$

Для реализации найденных оптимальных режимов необходимо организовать контуры стабилизации подачи материала на прессование F и температуры прессования T :

1. Автоматическая стабилизация подачи материала F на конвейер 04.01 может быть реализована при помощи регулятора, который учитывает по показаниям весов суммарную подачу материала из ретура с элеваторов 08.01 08.02 и из отделения подогрева с конвейера Гр1а через элеватор Гр3 (рис. 2).

Регулирующим воздействием является изменение расхода материала на нитку, которое реализуется исполнительным механизмом Гр1а-1. Недостаточная нагрузка прессов по исходному материалу, подаваемому по конвейеру 04.01, приводит к снижению качества прессования и производительности прессов. Увеличенный расход ведет к увеличению количества циркулирующего вхолостую материала в ретуре. Это приводит к увеличению расхода электроэнергии на транспортировку и преждевременному износу механизмов.

2. Стабилизация температуры прессования. По рекомендациям технологов нижним пределом наиболее благоприятных условий процесса прессования хлорида калия является температура не менее 100 °С. Поток соли, подаваемой на прессование, объединяет смешивающиеся на конвейере 04.01 два потока в объемах:

- 30 ... 40% соль, поступающая из отделения подогрева;
- 60 ... 70% соль, поступающая из ретура нитки.

Первый поток соли, поступающий из отделения подогрева по конвейеру Гр1а имеет температуру 130 ... 160 °С. Второй поток – соль, поступающая на прессование из ретура нитки имеет более низкую температуру – до 70 ... 80 °С, поскольку во время при движения по ретуре происходит охлаждение соли (рис. 3).

При понижении температуры соли в шахтах прессов ниже 100 °С необходимо автоматически при помощи пересыпных устройств 10.03 и 10.04, находящихся на выгрузке элеваторов 08.01 и 08.02, производить частичный сброс ретура на конвейер Гр1в, возвращающий соль в отделение подогрева, и, соответственно увеличивать расход горячей соли с подогрева с конвейера Гр1а через шибер Гр1а-1.

3. Автоматическое распределение нагрузки по просеивающим машинам.

В технологическую нитку отделения грануляции включены четыре просеивающих машины, осуществляющие классификацию гранул по их размеру. Регулирование подачи материала на просеивающую машину осуществляется при помощи питателей, установленных над просеивающими машинами и имеющих регулируемую скорость вращения (рис. 4).

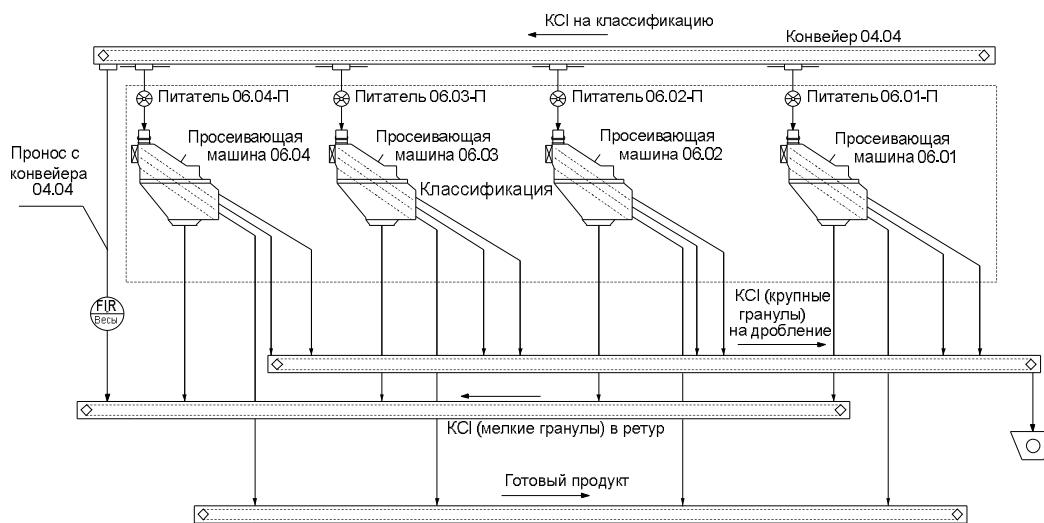


Рисунок 4 – Автоматическое распределение нагрузки по просеивающим машинам

В настоящее время изменение скорости вращения этих питателей возможно лишь вручную, по месту установки этих питателей.

Большая загрузка просеивающей машины, т.е. высокие обороты питателя могут привести к уменьшению качества классификации. Недостаточная загрузка просеивающих машин может привести к увеличению проноса материала с конвейера 04.04. Наиболее благоприятным условиям работы просеивающих машин способствует наличие небольшого проноса после конвейера 04.04 при одинаковой загрузке всех работающих просеивающих машин (т.е. при одинаковых оборотах питателей).

Для обеспечения этого условия необходима установка весов для измерения проноса после конвейера 04.04 и установка регулятора, поддерживающего минимальное значение этого проноса изменением оборотов питателей просеивающих машин. При работе технологической нитки возможен останов одной из просеивающих машин. В этом случае регулятор автоматически распределяет нагрузку между оставшимися в работе просеивающими машинами.

Оптимизация процесса прессования и дробления

Процесс прессования является важнейшим процессом при производстве гранулированного хлорида калия. Современный валковый пресс для получения плитки хлорида калия представляет собой сложное устройство, состоящее из подающего шнека, двух прижимных валков, шнеков-подпрессовщиков, дробилки, систем гидравлики, смазки и прочих вспомогательных систем. Экспериментально, опытным путём технологический персонал нашел наиболее выгодные режимы работы пресса.

В автоматическом режиме, как уже упоминалось ранее, работают регуляторы зазора валковых прессов. Регулирование скорости подачи материала на пресс осуществляется в ручном режиме изменением скорости вращения подающего шнека.

Не менее важным процессом при производстве гранулированного хлорида калия является процесс дробления. Качество процесса дробления в настоящее время определяется лишь в ходе лабораторного анализа грануляционного состава материала после дробилки. Такой анализ проводится один раз в два часа. По результатам этого вносятся коррективы в управление дробилкой. Между тем, в настоящее время существуют системы машинного зрения, которые могли бы в режиме реального времени проводить оперативно в режиме on-line анализ грануляционного состава материала и автоматически изменять скорость вращения дробилки. Для определения оптимальных режимов прессования и дробления предполагается разработать математические модели этих процессов.

Список литературы

1. *Титков С.Н., Мамедов А.И.* Обогащение калийных руд. М.: Недра, 1982. 518 с.
2. *Класен П.В., Гришаев И.Г.* Основы техники гранулирования. М.: Недра, 1982. 389 с.
3. *Черноруцкий И.Г.* Методы оптимизации в теории управления. СПб.: Питер, 2004. 256 с.
4. *Затонский А.В.* Компенсация скрытых стохастических свойств объекта автоматического регулирования // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 316. № 5. С. 26–34.
5. *Beletskaya S.Yu., Zolnikov V.K., Kravets O.Ja., Lapshina M.L., Podvalny E.S.* Specific features of modeling and developing the mathematical and program software for designing intranet-interfaces during competitive development of information systems // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 23. № 12. С. 64–70.
6. *Затонский А.В.* Моделирование технологического участка обогатительной фабрики в пакете MATLAB // Обогащение руд. 2014. № 4 (352). С. 49–54.

Т. Г. Ракаева, магистрант
Березниковский филиал Пермского национального
исследовательского политехнического университета

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

В статье изложены основные проблемы рассматриваемой темы, поставлены цель и задачи научного исследования, обоснована актуальность работы, рассмотрены существующие способы решения проблемы, рассмотрена модель транспортно-перегрузочной системы и выдвинуты требования к разрабатываемому программному обеспечению.

This article is about main problems of the considered subject are stated, the object and the tasks of scientific research are set, relevance of work is proved, the existing ways of a solution are considered, the model of transport and reloading system is considered and demands to the developed software are made.

Ключевые слова: карьер; транспортно-перегрузочная система; система массового обслуживания.

Keywords: quarry; transport and loading system; queuing system.

Автомобильный транспорт считается наиболее рациональным решением задач по доставке грузов на карьерах с небольшой производственной мощностью. Основной задачей автомобильного транспорта было и остается своевременное транспортирование горной массы из карьера на дробильно-сортировочный комплекс (ДСК) и в отвал вскрышных пород.

Известно, что в массиве известняков имеются многочисленные глинистые тела и зоны дробления с различным содержанием глины и закарстованности [1]. Такая структура месторождения при ведении горных работ ведет к резкому изменению их планов и невозможности вести селективную отработку запасов [2]. При производстве взрыва кондиционные известняки перемешиваются с глиной и не могут использоваться на ДСК. Заглиненные известняки транспортируются в отвал как скальные некондиционные породы и соответственно увеличиваются общие объемы добычи и объемы грузоперевозок.

На одном из карьеров Пермского края специалистами предложено решение существующей проблемы за счет, внедрения перегрузочного пункта (ПП) для раз-

деления скальной горной массы, транспортируемой в отвал на чистые кондиционные известняки и заглиняные не кондиционные. Тогда общие объемы горной массы, добываемые в карьере и направляемые в отвал, снизятся. В то же время в транспортном плече добавляются дополнительные транспортные магистрали. Поэтому задачами проектирования является моделирование транспортно-перегрузочной системы (ТПС), предназначенного для расчетов оптимальных объемов грузопотоков в различных направлениях, определения места расположения перегрузочного пункта с минимальными транспортными расходами и минимальным количеством автосамосвалов и их простоями при погрузочно-разгрузочных операциях.

Оптимизация доставки необходима для управления грузопотоками, критерием эффективности которого является доставка груза нужного качества и количества в заданное место, в назначенное время и с минимальными затратами.

Поиск путей для оптимизации логистики доставки мелких партий грузов в карьере требует системного подхода к анализу существующей и предлагаемой схеме грузопотоков, основой которой является моделирование процессов, позволяющее при ограниченных ресурсах найти наиболее эффективные направления совершенствования ТПС. Моделирование позволит описать сочетание транспортирования грузопотоков в различных направлениях и прибытия автотранспорта в заданное время в точку назначения с минимальными затратами. Особенностью перевозок является несколько пунктов назначения на территории предприятия, а также различный ассортимент по качеству известняка, отвечающий и не отвечающий требованиям технических условий (стандартам предприятия).

Работа автомобильного транспорта будет заключаться в перевозках мелких партий грузов в различных направлениях (карьер – отвал, карьер – ДСК, карьер – ПП, ПП – ДСК, ПП – отвал).

Автосамосвалы в ТПС могут быть закреплены непосредственно за каждым объектом исследования или иметь открытый цикл организации автотранспорта, поэтому задачами моделирования является выбор оптимального варианта ТПС.

За критерий оптимальности при моделировании ТПС принимается эксплуатационная сменная производительность системы ($A_{см}$), которая определяется функцией вероятностных состояний системы: P_0 – вероятность того, что на ПП отсутствует горная масса (ГМ), определяющая простои оборудования и задержку отгрузки очищенного известняка; P_{E_A}'' – вероятность того, что ПП переполнен ГМ, определяющая простои автомобильного транспорта на разгрузке; P_p – рабочая вероятность, определяющая промежуточное (рабочее) состояние ПП, когда ПП не пуст и не переполнен горной массой.

Большинство транспортных потоков описываются законами распределения: Пуассона, Эрланга, биномиальным, нормальным [3]. Для карьерных условий входящий поток автосамосвалов часто представляют в виде простейшего, обладающего свойствами стационарности, ординарности и отсутствием последействия, описываемого законом Пуассона. При этом вероятность того, что за отрезок времени t , поступит m автосамосвалов, определяется по формуле (1)

$$P = \{ (\lambda \cdot t)^m / m! \} \cdot e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

и, в частности, что не поступит ни одного автосамосвала (2).

$$P_0(t) = e^{-\lambda}, \quad (2)$$

где λ – средняя интенсивность потока, измеряемая числом автосамосвалов, поступивших в единицу времени.

Если обозначить, T – промежуток времени между двумя произвольными поступлениями соседних автосамосвалов в простейшем потоке, то вероятность того, что интервал между автосамосвалами будет не меньше величины t .

$$P(T \geq t) = e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

откуда функция распределения:

$$P(T < t) = F(t) = 1 - e^{-\lambda t} (t > 0), \quad (4)$$

а плотность распределения:

$$dF(t)/dt = f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} (t > 0) \quad (5)$$

В выражении (1) величина λt – математическое ожидание числа прибывших автосамосвалов за отрезок времени t . Обозначив $\lambda t = a$ выражение (1) принимает вид:

$$P = (a^m / m!) \cdot e^{-a} \quad (6)$$

Вероятности P_m образуют полную группу несовместных событий, поэтому

$$\sum_{m=0}^{\infty} P_m = 1 \quad (7)$$

Отсюда Эксплуатационная сменная производительность системы определяется функцией вероятностных состояний системы P_0 и P_n .

$$A_{cm} = \mu_1 (1 - P_0) \cdot (1 - P_{E_A}) \cdot Q_{об} \cdot T_{cm} = P_p Q_{об} T_{cm}, \quad (8)$$

где μ_1 – интенсивность поступления автосамосвалов на разгрузку; P_{E_A}'' – вероятность того, что аккумуляющая емкость ПП полна и работа по перегрузке ГМ

приостановилась; P_p – рабочая вероятность; $Q_{об}$ – общий объем порции горной массы, поступающей в систему; $T_{см}$ – продолжительность смены.

При выборе места расположения перегрузочного пункта критерием оптимальности является суммарный объем грузоперевозок.

В общем случае ПП может быть расположен в любой точке пространства карьер – отвал – ДСК. К сравнению предлагаются лишь те случаи, которые практически наиболее близки к реализации. Первый случай рис. 1 (а) – ПП примыкает к отвалу, второй рис. 1 (б) – ПП располагается непосредственно за границей карьера, третий рис. 1 (в) – ПП располагается на площадке ДСК.

Объем грузоперевозок определяется по формуле:

$$O = \Gamma \times L \times D \times \Pi \times K_n \times K_g \quad (9)$$

где: O – объем автотранспортных работ, ткм; Γ – номинальная грузоподъемность одной автомашины, т; L – среднесуточный пробег одной автомашины, км; D – количество дней работы автомашины в году на перевозке грузов; Π – среднегодовое количество машин данной марки; K_n – коэффициент использования пробега; K_g – коэффициент использования грузоподъемности.

Для моделирования баланса грузопотоков в системе при введении перегрузочного пункта, необходимо разработать модель расчета вероятностных состояний ТПС при сопряжении циклических видов карьерного транспорта (автомобильно-автомобильный транспорт) и выполнить моделирование схемы места расположения объектов в границах горного предприятия.

Теория массового обслуживания позволяет рассматривать системы, в которые через регулярные и не регулярные интервалы времени поступают транспортные средства, подлежащие разгрузке (обслуживанию) с постоянной или случайной продолжительностью. Поэтому для моделирования ТПС и разработки алгоритма расчета вероятностных состояний ТПС решено использовать теорию системы массового обслуживания.

Автосамосвалы, поступающие из карьера на ПП, с заглиняным известняком, образуют входящий поток в систему. В зависимости от состояния системы самосвал сразу поступает на разгрузку, выполняет маневры и разгрузку (обслуживается) или становится в очередь и ждет освобождения места разгрузки (n_1). Разгрузившиеся автосамосвалы образуют выходящий поток с разгрузки и входящий поток на погрузку либо очищенного известняка, либо отходов ПП, в зависимости от свободного места в местах погрузки (d_1 и d_2). Если оба места заняты, то автосамосвал становится в очередь. Если одно из мест d_1 или d_2 свободно, то автосамосвал поступает на обслуживание, загружается очищенным известняком и покидает систему. Если оба

места заняты, то автосамосвал становится в очередь. Автосамосвалы, покидающие систему, образуют выходящий поток, рис. 2.

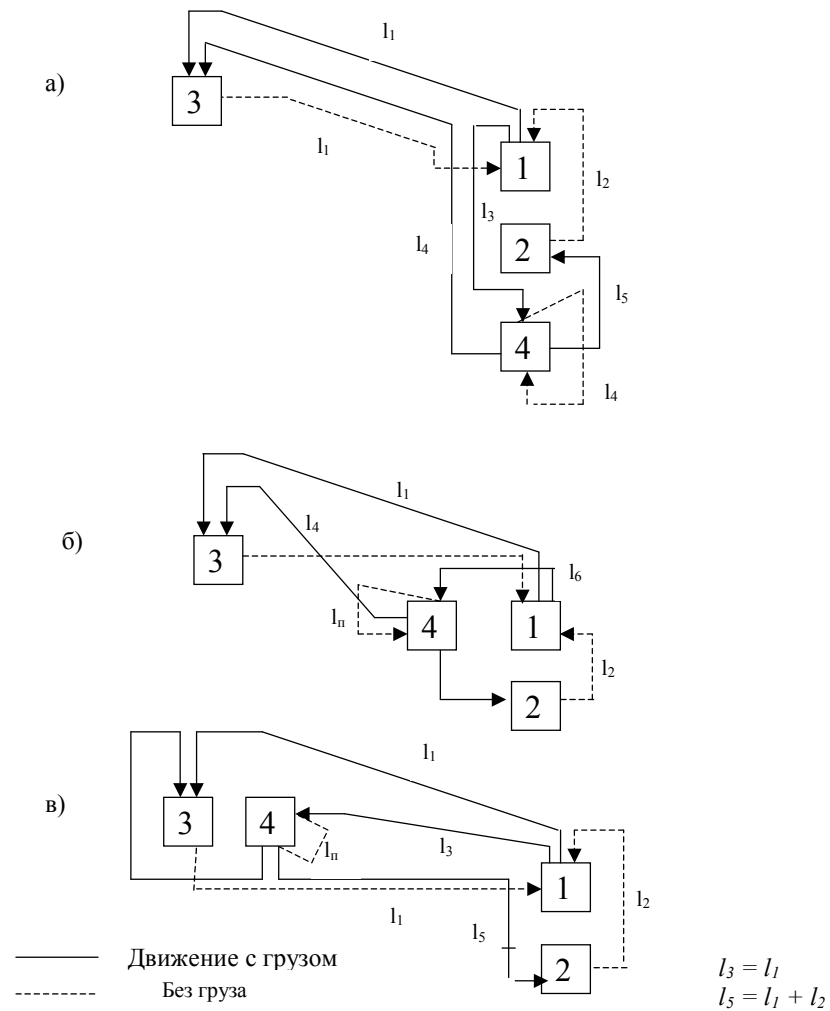


Рисунок 1 – Схемы расположения объектов и направления грузопотоков автотранспорта

Исходя из поставленной задачи, к расчету вероятности состояний системы для карьерных условий применим закон Пуассона [3], а также материал математического аппарата и методику исследований профессора Г.П. Ананьина [5].

Таким образом, для достижения поставленной цели по оптимизации ТПС в условиях карьеров выбрана методология моделирования ТПС, основанная на теории массового обслуживания циклических видов транспорта.

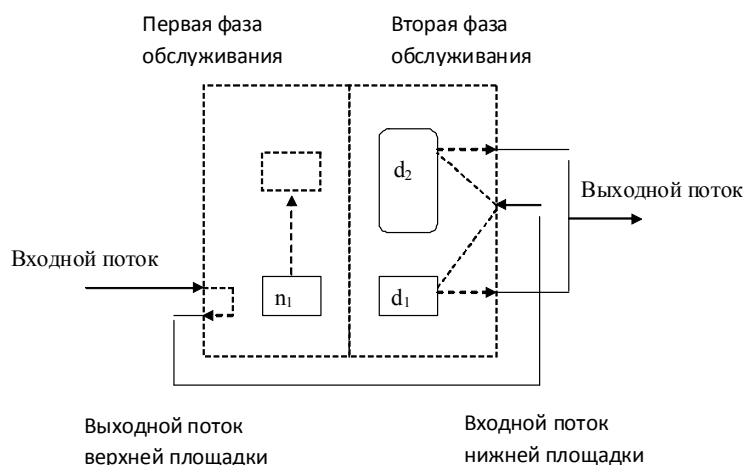


Рисунок 2 – Взаимодействия грузопотоков в двухфазной системе массового обслуживания

За критерии оптимальности при этом приняты:

- эксплуатационная сменная производительность системы ($A_{см}$), определяемая функцией вероятностных состояний системы;
- суммарный объем грузоперевозок для выбора наиболее рационального места размещения перегрузочного пункта из трех вариантов расположения в границах земельного отвода карьера.

Список литературы

1. Бейтс Р.Л. Геология неметаллических полезных ископаемых. М.: Изд-во Мир. 1966. 548 с.
2. Кудряшов А.И. и др. Чаньвинское месторождение известняков. Пермь, 1999. 81 с.
3. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1969. 320 с.
4. Подшивалова К.С. Повышение эффективности доставки мелкопартийных грузов автомобильным транспортом. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2007.
5. Акулиничев В.М. Математические методы в эксплуатации железных дорог. М.: Транспорт, 1981. 223 с.
6. Бильфельд Н.В., Затонский А.В. Применение самоорганизующихся систем при управлении сложными процессами // Проблемы теории и практики управления. 2007. № 12. С. 70–74.
7. Беккер В.Ф., Плехов П.В., Затонский А.В. Управление средствами производства в системе менеджмента качества химической продукции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 9. С. 66–72.
8. Затонский А.В. Теоретический подход к управлению социально-техническими системами // Программные продукты и системы. 2008. № 1. С. 29–32.

УДК 621.9.02

С.С. Бухарева, студент

С.В. Жиляев, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРУГЛЫХ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ В CAD/CAM СИСТЕМАХ

В статье рассмотрена методика визуального проектирования круглого токарного фасонного резца в системе объемного твердотельного моделирования.

The article discusses the methodology of visual design round shaped cutter lathe in a surround solid modeling.

Ключевые слова: фасонный резец, автоматическое проектирование, CAD/CAM системы.

Keywords: shaped cutter, automatic design, CAD / CAM system.

В настоящее время вычислительная техника играет важную роль в процессе проектирования всевозможных машин и механизмов. Обладая огромными возможностями совершенствовать этот процесс, она позволяет быстро производить вычисления, решать сложные задачи численными методами, осуществлять анализ результатов вычислений, рассматривая ряд возможных вариантов и выбирая из них оптимальный. Среди большого комплекса работ, связанных с использованием ЭВМ в машиностроении, важное место занимают системы автоматизированного проектирования.

Процесс проектирования режущего инструмента в общем случае имеет такие составляющие, как конструирование, расчеты, вычерчивание, составление спецификации, контроль чертежей, прочие виды работ. Наиболее трудоемкими из них, помимо косвенных видов работ, являются конструирование и вычерчивание, т.к. во время выполнения чертежей производится не только непосредственно графическая, но также и творческая работа. При использовании ЭВМ для решения большинства задач проектирования режущего инструмента затраты по времени значительно снижаются, поэтому задача снижения трудоемкости проектирования фасонного режущего инструмента является весьма актуальной.

Целью данной работы является разработка методики проектирования токарного фасонного резца с использованием объемного твердотельного моделирования на ЭВМ и контроля качества проектирования инструмента.

Существуют графический и аналитический методы определения профиля фасонных резцов. Графический метод наглядный, но неточный, поэтому в инженерной практике не применяется. Аналитический метод лишен этого недостатка, но более сложный. Несмотря на это, высокие требования к точности проектирования фасонных резцов обусловили применение на практике аналитического метода [1].

Кратко рассмотрим общий аналитический способ профилирования резцов. Для определения профиля фасонного резца данным способом необходимо найти профиль режущей кромки как линию пересечения поверхности детали с плоскостью, проходящей через переднюю грань резца. Далее определить положение оси резца согласно рекомендациям работы [1] и по расчетным зависимостям вычислить его радиусы. После этого производим оформление чертежа.

Визуальное проектирование в системе 3D-моделирования упрощает проектирование резца и делает его более наглядным, а точность определяется возможностями CAD/CAM системы. Так в системе ADEM можно выполнять проектные работы с точностью 1 мкм.

Рассмотрим методику визуального проектирования круглого фасонного резца, с использованием системы ADEM. Данная методика представлена на рисунке 1.

Исходными данными для проектирования фасонного резца является чертеж детали и информация об условиях механической обработки. Это необходимо для формирования объемной модели детали и определения положения резца. После задания положения режущего инструмента определяется линия контакта режущей кромки резца с обрабатываемой поверхностью детали. Полученная таким образом линия контакта является основой для построения профиля сечения трехмерной модели фасонного резца. Далее с помощью встроенных функций трехмерного моделирования, производится построение объемной модели резца, формирование центрирующих отверстий и элементов крепления, стружкоотводящей канавки.

Контроль правильности выполненной 3D-модели резца осуществляется совмещением объемной модели детали в точке контакта режущей кромки с деталью (рис. 3). Оценить точность совпадения режущей кромки резца с профилем детали можно визуально или с помощью булевых операций CAD/CAM системы.

Таким образом, использование системы 3D-моделирования при проектировании позволяет:

1. Визуализировать процесс проектирования.
2. Исключить расчетные работы.
3. Проконтролировать точность профилирования тела резца.

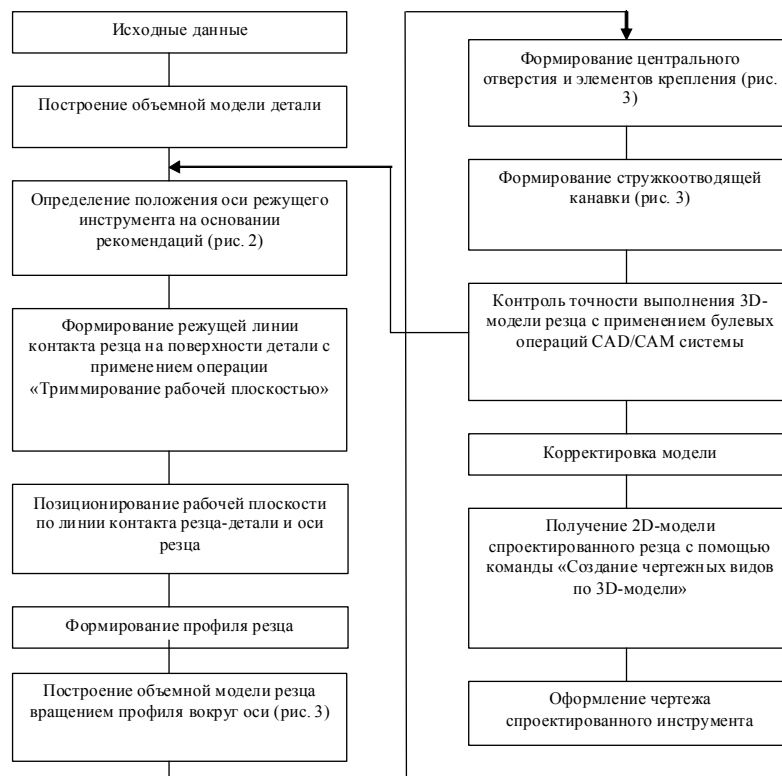


Рисунок 1 – Алгоритм объемного проектирования круглого токарного фасонного резца

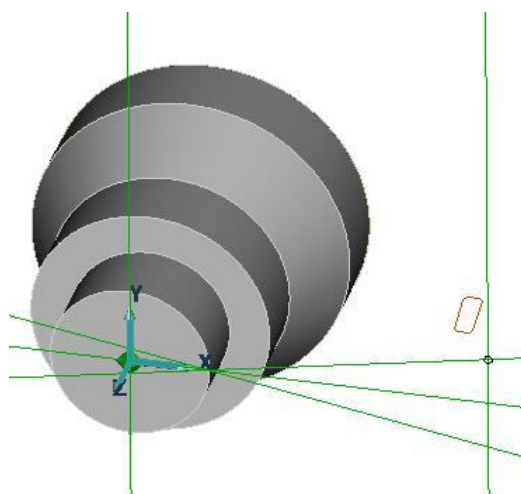


Рисунок 2 – Определение положения оси реза

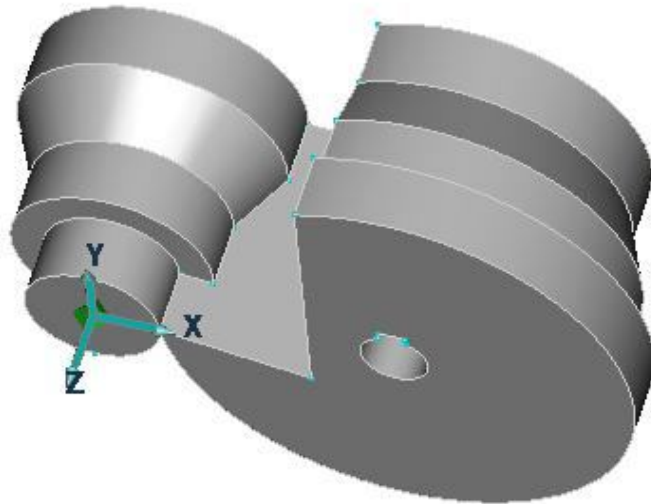


Рисунок 3 – Объемное проектирование фасонного резца

4. Автоматически получить чертеж резца.

При выполнении работы, были использованы стандартные функции системы 3D-моделирования ADEM, а следовательно для проектирования такого инструмента можно использовать и другие подобные CAD/CAM системы.

Список литературы

1. Сахаров Г.Н., Арбузов О.Б., Боровой Ю.Л. и др. *Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты».* М.: Машиностроение, 1989. 328 с.: ил.

УДК 621.9.014

С. Д. Кугультинов, доктор технических наук, профессор

А. С. Жиляев, аспирант

Ижевский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния режимов обработки на силовые параметры при фрезеровании алюминиевого сплава АМгЗ.

The results of experimental studies on the effect of processing parameters on power for milling aluminum alloy АМgЗ.

Ключевые слова: фрезерование, алюминиевый сплав, силовые параметры.

Keywords: milling, aluminum alloy, power settings.

В современном производстве широко применяются алюминиевые сплавы. Основные их достоинства - высокая коррозионная стойкость, малый удельный вес, хорошая свариваемость, высокая теплопроводность. Детали, выпускаемые для отраслей авиа- и ракетостроения имеют сложную конструкцию, а также высокие требования по точности изготовления. Для качественного изготовления этих деталей с соблюдением всех требований чертежа важно знание силовых параметров при обработке.

Отсутствие обоснованных рекомендаций по выбору рациональных режимов резания алюминиевых сплавов на современном оборудовании еще больше осложняет ситуацию. Силовые параметры при фрезеровании можно определить либо теоретически, либо экспериментально.

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования влияния режимов резания на тангенциальную составляющую силы резания. Целью исследований было получение эмпирического выражения:

$$P = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S_o^{y_p} \cdot v^{z_p},$$

определяющего зависимость силы резания от режимов резания (в приведенном выше выражении t , S_o , v – режимы резания; x_p , y_p , z_p – показатели степени; C_p – согласующий коэффициент).

Экспериментальные исследования проводились по методу однофакторного эксперимента с коэффициентом надежности $\alpha = 0,9$ (каждый эксперимент повторялся трижды) при фрезеровании плиты размером $2400 \times 1400 \times 50$ мм из сплава АМг3 ГОСТ 4784-97. Исследования проводились на обрабатывающем центре портального типа Kitamura BridgeCenter-10. Измерение силовых параметров проводилось с помощью датчика эффективной мощности резания, интегрированного в шпиндель. Результаты измерений с помощью выражения (1) преобразовывались в тангенциальную составляющую силы резания:

$$P_z = \frac{N_e}{v \cdot \eta} \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность резания, кВт; v – скорость резания, м/мин.; η – КПД электродвигателя.

В качестве режущего инструмента использовались твердосплавные концевые трехзубые фрезы $\varnothing 16$ мм. Конструкция используемых фрез предназначена для обработки пазов в алюминиевых деталях.

Обработка полученных результатов по общеизвестной методике [2] позволила получить вначале частные зависимости:

- силы резания от глубины резания: $P_z = 342 \cdot t^{0,71}$;
- силы резания от подачи: $P_z = 2,25 \cdot S^{0,99}$;
- силы резания от скорости резания: $P_z = 5334 \cdot v^{-0,36}$.

И общую эмпирическую зависимость силы резания от режимов резания:

$$P_z = 8,54 \cdot t^{0,71} \cdot S^{0,66} \cdot v^{-0,36} \quad (2)$$

Поправочные коэффициенты в выражении (2) не приведены, поскольку оно было получено в условиях конкретного предприятия для внутреннего использования.

Анализ полученных результатов показал, что несмотря на то, что наибольшее влияние на силу резания оказывает глубина резания и подача режущего инструмента, ее лучше снижать за счет увеличения скорости резания. Это связано с тем, что при уменьшении глубины резания и подачи происходит снижение производительности обработки.

Список литературы

1. Кувшинский В.В. Фрезерование. М. : Машиностроение, 1977. 240 с.
2. Кугультинов С.Д., Ковальчук А.К., Портнов И.И. Технология обработки конструкционных материалов : учеб. пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 678 с.

Е.П. Прозаев, студент

Ижевский государственный технический университет

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ПОДВОДНОГО ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

В работе дается обзор современных средств индивидуального подводного передвижения. Проанализированы технические характеристики.

The paper provides an overview of modern means of individual movement underwater. Analyzed specifications.

Ключевые слова: дайвинг, буксировщик, подводное передвижение.

Keywords: diving, towing, underwater movement.

Подводные средства передвижения является неотъемлемой частью снаряжения водолаза, при проведении подводно-технических, научно-технических работ, и морского спецназа. По источнику энергии, разрабатывавшиеся в мире буксировщики подразделяются на электрические, парогазовые и механические. Последние использующие мышечные усилия водолаза и оказались неэффективными – ведь одно из достоинств буксировщика заключается в том, что он позволяет экономить усилия, а значит и самый ценный ресурс под водой – воздух. Парогазовые буксировщики оказались небезопасными в эксплуатации, и в результате на сегодняшний день единоличный лидер – это электрические буксировщики [1, 2]. Среди известных ныне использующихся буксировщиков водолаза можно выделить «Протон-У», «Протей-5МУ», «Нептун» и др., а также ряд зарубежных буксировщиков: «Пегас», «Кусто» и «Мартин» [3]. Все выше перечисленные изделия не требуют слишком высокой квалификации в эксплуатации. Ведь для водолаза буксировщик всего лишь средство передвижения, на которое он должен тратить минимум сил и внимания. Простота в эксплуатации буксировщиков достигается применением электрической энергии, где гребной винт приводится в движение электродвигателем, питающийся аккумуляторной батареей. Но при всем своем совершенстве они имеют и свои минусы. В частности самый легкий буксировщик «Нептун» имеет массу 36 кг [4]. Скорость буксировщика при этом всего 1 узел. Его главным недостатком является то, что руки водолаза не могут использоваться для работы с объектами или иными приборами исследования во время движения, и то, что тяжелые массово-габаритные характеристики затрудняют транспортировку данного изделия. Однако существуют и наспинные буксировщики (напр. Протей-2). Но массо-

во-габаритные недостатки все же не решаются. Так как в качестве источника энергии также используется аккумуляторная батарея, а в качестве движительного комплекса – электродвигатель с гребным винтом. Другие аналоги имеют значительно большие габариты и массу (свыше 100 кг). При этом скорость буксировщиков составляют 2,1-2,2 узла [4]. Все указанные проблемы могут быть решены применением других принципов работы двигательной установки буксировщика. В первую очередь необходимо отказаться от буксировщиков, использующих электрическую энергию, что позволило бы облегчить устройство, так как основную массу разработанных буксировщиков составляет аккумулятор и электродвигатель. С применением иных технологий, где скорость буксировщика достигалась бы выше 2,8 узла (1,5 м/с) необходимо предпринять возможность установки обтекателя. Так как при скорости 3 узла набегающий поток воды обжимает лицо и прижимает и вырывает изо рта трубки дыхательного аппарата. С установкой обтекателя скорость можно увеличить до 4,3 узла и даже несколько больше [5]. Однако, как показывают предварительные расчеты, для таких скоростей массово-габаритные характеристики электрических буксировщиков явно превышают эргонометрически допустимые пределы. И парогазовые двигатели видятся единственной разумной альтернативой в создавшихся условиях. В зависимости от способа формирования рабочего тела парогазовые двигатели могут быть пневматическими, гидрореактивными, паровыми и др. [6]. В литературе, судя по предлагаемым патентам, наиболее перспективной видится пневматическая установка с приводом от основного баллона. Но данный вопрос был подробно рассмотрен в работе [7] и показал невозможность конструктивной реализации данной схемы.

Список литературы

1. Митюков Н.В., Коробейников А.В. Из опыта ижевских дайверов: подводная археология, экология, мониторинг водоемов. Ижевск: Изд-во НОУ КИТ, 2009. 136 с.
2. Коробейников А.В., Митюков Н.В. Подводные мегалиты озера Тургояк // Вестник Томского государственного университета. Сер. История. 2009. № 1 (5). С. 53–57.
3. Митюков Н.В., Тулумбасов В.В. О возможности конструктивной реализации подводного буксировщика // Новый университет. Сер. "Технические науки". 2012. № 3. С. 78–79.
4. Пат. 2330782 Российская федерация, МПК В63С11/46, А63В35/08. Буксировщик водолаза / Овчинников А.В., Берков Ю.А., Кузяшов А.В., заявитель и патентообладатель Войсковая часть 20914. – 2006100986/11. заявл. 10.01.2006, опубл. 20.07.2007.
5. Трошин В.П. Ихтионавт – обитатель Гидросферы будущего // Журнал "Братишка". URL: <http://phorum.bratishka.ru/viewtopic.php?p=181539>.
6. Тулумбасов В.В. Пневматический подводный буксировщик // Вестник КИГИТ. 2014. № S1. С. 19-23.
7. Тулумбасов В.В. Оптимизация параметров пневматического подводного буксировщика // Новый университет. Сер. "Технические науки". 2013. № 8–9. С. 92–97.

УДК 501

Ким С.Л. к.ф.-м.н. научный сотрудник ФГБУН Институт механики УрО РАН

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И РАСЧЁТА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОН СОЕДИНЕНИЯ В БИМЕТАЛЛАХ

Очевидно, что на сегодняшний день недостаточно использования существующих методов определения физико-химических процессов, в основе которых расчет и определение характеристик происходит на микро и макро уровнях. Для уменьшения трудозатрат, времени и финансовых составляющих необходимо переходить на атомарный (нано) уровень измерения с описанием и созданием новых моделей и методов определения физико-химических процессов, протекающих при образовании биметаллических соединений и многокомпонентных материалов.

Obviously, to date, insufficient use of existing methods for the determination of physico-chemical processes based on the calculation and characterization occurs at the micro and macro levels. To reduce labor, time and financial components have to work on atomic (nano) level measurement with description and creation of new models and methods for the determination of physico-chemical processes occurring during the formation of bimetallic compounds and multicomponent materials.

Ключевые слова. Биметаллы, физико-химический процесс.

Key words. Bimetals, physico-chemical process.

В соответствии с кинетическими представлениями коэффициент диффузии пропорционален количеству атомов, обладающих энергией, которая выше энергии активации единичных перемещений. Это положение отражено зависимостью [1]:

$$D = D_0 \cdot \exp(-E_a / RT), \quad (1)$$

где E_a - энергия активации процесса диффузии конкретного атома в системе других атомов твердого раствора. Логарифмируя его получаем:

$$E_a = RT(\ln D_0 - \ln D). \quad (2)$$

Для определения по (1.6) E_a экспериментально находят коэффициенты диффузии при двух разных значениях температуры и строят в полулогарифмической шкале график. Тангенс угла наклона кривой к оси $1/T$ есть энергия активации, отнесенная к R (универсальной газовой постоянной). Сопоставление литературных данных выявило наличие весьма существенных противоречий [2]. Напри-

мер, для хорошо изученного процесса самодиффузии кремния расхождение теоретических и экспериментальных значений энергии активации составляет 1,56 эВ, а значения для диффузии железа в сплаве $Fe + 1\%Mn$, полученные на основе метода радиоактивных изотопов, отличаются от значений полученных с помощью металлографического метода на 2,37 эВ. Кроме того анализ данных, проведенный в [3], показал, что диффузионная подвижность атомов конкретного химического элемента существенно меняется в окружающей его среде атомов основы сплава при наличии в ней атомов других химических элементов, как в сторону увеличения, так и уменьшения в зависимости от их концентрации и свойств.

Поскольку в металлах атомы состоят из ионов и относительно свободных электронов, движущихся в определенных пространственно-энергетических зонах, авторы работ [2] обосновали и установили аналитическую взаимосвязь между энергией активации диффузии и электронным строением взаимодействующих в кристаллической решетке атомов. Исходя из этого, энергию активации диффузии E_a предложено определять как сумму обратных величин пространственно-энергетических параметров атомов:

$$\frac{1}{E_a} = 2 \left[\left(\frac{r_i n}{P_0} \right)_A + \left(\frac{r_i n}{P_0} \right)_B \right], \quad (3)$$

где E_a - энергия активации процесса диффузии атома B в среде атомов A ; n - число валентных электронов или число наиболее удаленных от ядра валентных электронов конкретного атома; P_0 - пространственно-энергетический параметр атома (P - параметр [4]); r_i - радиус валентной орбитали. Индекс около скобок означает энергию соответствующего атома.

При диффузии атома B в однородной по составу среде и подобной ему среде с атомами B значение E_a по (3) приобретает смысл энергии активации самодиффузии атома B . Погрешность вычислений в сопоставлении с экспериментальными данными составляет не более 5 % [2].

Введение третьего элемента C к атомам основы сплава A и легирующего их атомам B и его концентрация изменяют картину взаимодействия. Это изменение может быть учтено введением в уравнение (3) суммарного коэффициента активности легирующих элементов f (в данном случае элемента C) на диффузионную подвижность атомов B :

$$\frac{1}{E_a} = 2 \left[\left(\frac{r_i n}{P_0} \right)_A + \left(\frac{r_i n}{P_0} \right)_B \right] \cdot \frac{1}{f_c}, \quad (4)$$

где f_c - коэффициент активности атомов элемента C .

Зависимость коэффициента f от количества легирующих элементов и их концентраций выражается уравнением [3]:

$$\ln f = k_c \cdot N_c + k_D \cdot N_D + \dots, \quad (5)$$

где k_c , k_D , N_c , N_D - параметры влияния и массовая доля элементов C и D , соответственно.

В работе [3] приведены данные по глубине диффузии углерода в биметалле сталь Ст3+сталь 08X18H10T в зависимости от расположения границ аустенитных зерен перед диффузионной сваркой. Она больше в том металле, границы зерен которого располагались перпендикулярно поверхности соединения. Поэтому очевидно, что в экспериментальных исследованиях диффузии в поликристаллических материалах наблюдаются оба механизма, а вычисленные по (2) значения энергии активации представляют собой некоторые усредненные значения. Вследствие различной диффузионной подвижности атомов внутри и по границам зерен их поток от границы не компенсируется притоком атомов к границе из объема зерна. Так ведет себя любая граница раздела, в том числе и граница в биметалле. В результате образуется избыточное количество вакансий, которые и стремятся заполнить атомы другого материала.

Не лишена недостатков и сама методика вычисления E_a по P параметру, которая учитывает влияние третьего компонента и его концентрации по империческому коэффициенту активности. Тем не менее, на ее основе можно расчетным путем осуществить прогностическую оценку направления диффузионной миграции атомов легирующих элементов на границе соединения материалов в биметалле.

Так, например, для уменьшения интенсивности диффузии углерода на границе контакта необходимо обеспечить равенство его активности в оболочке и рабочем слое. В зависимости от химических составов соединяемых сплавов это может быть достигнуто или дополнительным легированием одного из них элементами, повышающими активность в частности углерода, или дополнительным легированием другого сплава элементами, наоборот понижающими его активность. Технологически это проще осуществить методом наплавки, выбрав соответствующий данному требованию химический состав наплавляемого материала в виде, например, порошковой шихты. Кроме того, не исключается применение промежуточных слоев. Для них желательно иметь наименьший эффективный коэффициент диффузии углерода по сравнению с его активностью в основном металле и рабочем слое [5]. Необходимо также создание определенной структуры в зоне соединения, границы зерен которой были направлены параллельно ей.

При рассмотрении процессов диффузии большой практический интерес представляет определение концентрации диффундирующего вещества на опреде-

ленном расстоянии от поверхности раздела в зависимости от температуры и времени нагрева при термической или деформационной обработке. Такая зависимость в общей дифференциальной форме называется уравнением Фика или второй закон диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial r^2}, \quad (6)$$

где r - радиальная координата рассматриваемого биметаллического тела; C - концентрация атомов диффундирующего компонента сплава; D - коэффициент диффузии компонента в сплаве, характеризующий его количество в граммах или молях, перемещающееся через единицу площади ($см^2$) в одну секунду при градиенте концентрации dC/dr , равном единице. Если при этом рассматривать случай нестационарного диффузионного потока $dc/dt \neq 0$ из раствора постоянной концентрации в бесконечно длинный столб растворителя, то граничные условия будут следующие: $c = C_0$ при $r < 0$ для всех t ; $c = 0$ при $r > 0$ для $t = 0$; $c = c(x, t)$ для $r > r_{zp}$ и $t > 0$. Решение в этом случае примет вид [6]:

$$c(x, t) = C_0 [1 - \Phi(\omega)], \quad (7)$$

где $\Phi(\omega)$ - интеграл вероятности от аргумента $\frac{r}{2 \cdot \sqrt{Dt}}$. Ограничиваясь первым членом ряда при разложении интеграла $\Phi(\omega)$, получим:

$$C = C_0 \left(1 - \frac{r}{2\sqrt{Dt}} \right). \quad (8)$$

Если учесть зависимость коэффициента диффузии от температуры (1), то с ее увеличением рост ширины зоны соединения будет подчиняться экспоненциальному закону.

Второй случай нестационарного потока наблюдается, когда диффузия происходит из бесконечно большого столба раствора в бесконечно большой столб растворителя через резкую концентрационную границу между ними. Граничные условия запишутся: $c = C_0$ при $t = 0$ и $r < r_{zp}$; $c = 0$ при $t = 0$ и $r > r_{zp}$; $c = f(r, t)$ при $t \neq 0$.

При взаимной диффузии атомов двух химических элементов A и B уравнение (8) записывается в виде системы уравнений:

$$C_B = \frac{\sqrt{D_A}}{\sqrt{D_A + D_B}} \cdot \left(1 + \frac{r}{2\sqrt{D_B t}} \right) \text{ при } r < r_{zp}; \quad (9)$$

$$C_A = \frac{\sqrt{D_B}}{\sqrt{D_A + D_B}} \cdot \left(1 - \frac{r}{2\sqrt{D_A t}} \right) \text{ при } r > r_{zp}, \quad (10)$$

где C_A и C_B - концентрации элемента A в B и B в A соответственно; D_A и D_B - коэффициенты диффузии элемента A в B и B в A соответственно.

Вывод.

При расчете по зависимостям (9) и (10) следует учитывать тот факт, что перед термомеханической обработкой биметалла в нем под действием процесса диффузии сформирована зона соединения, в которой произошли концентрационные изменения легирующих элементов. Поэтому в (9) и (10) время t будет представлять собой сумму, состоящую из времени протекания диффузионного процесса при биметаллизации t_δ и времени проведения термомеханической обработки t_T . При этом температура нагрева учитывается через коэффициент диффузии. C_A и C_B представляют дальнейшее изменение в концентрациях легирующих элементов после обработки.

Список литературы

1. Казаков Н.О. Диффузионная сварка в вакууме. М., Машиностроение, 1968 г. с 331.
2. Соловьёв С.Д. Расчёт энергии активации объёмной диффузии твёрдых тел. Химическая физика и мезоскопия Т-7, № 1, 2005 г. с. 31-40.
3. Голованенко С.А. Сварка прокаткой биметаллов. М., Металлургия 1977 г. с. 166.
4. Кораблев Г.А., Соловьёв С.Д., Дементьев В.Б. Растворимость компонентов в металлической системе Co-W-Ni-Cr-Fe // Химическая физика и мезоскопия. 2004. Т. 6, №1. С. 28-40.
5. Бокштейн С.З. Диффузия и структура металлов. М. : Металлургия, 1973. 208 с.
6. Шориоров М.Х., Ерохин А.А., Чернышева Т.А. Горячие трещины при сварке жаропрочных сплавов. М. : Машиностроение, 1973. 224 с.

Н.Н. Соломенников, магистрант
Ижевский государственный технический университет

АДАПТАЦИЯ СТЕНДА StT 500 ДЛЯ УДАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В работе проведены расчетные и экспериментальные исследования по адаптации ударного стенда StT 500 для испытаний специальной техники.

The work carried out theoretical and experimental research on the ADAP-tation of shock stand StT 500 test special equipment.

Ключевые слова: ударные испытания, ударный стенд, энергия удара.

Keywords: shock tests, shock stand, the impact energy.

Основная цель работы – определение пригодности ударного стенда StT 500 воспроизводить и поддерживать необходимые характеристики ударных воздействий, предусмотренных конструкторской документацией на испытываемые изделия специального назначения [1–20]. Основные характеристики стенда приведены в таблице.

Технические характеристики ударного стенда StT 500

<ul style="list-style-type: none">• масса испытательной нагрузки, включая массу приспособления для крепления изделия – 400 Кг;• частота ударов – (17-180) уд/мин $\pm 10\%$;• ускорение ударного импульса – до 5000 м/с² (500) g;• длительность действия ударного импульса – (0,5 – 15) мс	при нагрузке на стол – 75 Кг: 15g, (8 ₋₃ ⁺²) м/с 20g, (8 ₋₃ ⁺²) м/с 20g, 10 м/с ± 2 м/с 50g (3 \pm 2) м/с 75g, (3 \pm 2) м/с Частота ударов – не более 120 уд/мин
---	---

Требования безопасности:

1. При подготовке стенда к работе допускается персонал обученный, изучивший НТД на испытательное оборудование и имеющий соответствующую квалификацию.

2. Элементы ударных стендов, электроприборы, используемые при аттестации, должны быть заземлены.

3. Работы при включенном стенде производить в наушниках.

Перед испытаниями на удар необходимо произвести проверку ударного стенда:

1. При включенной установке проверить отсутствие не предусмотренных конструкцией люфтов и боя между деталями (исправность установки);

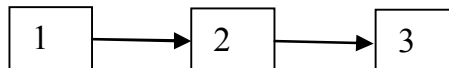
2. В середине платформы стенда прочно закрепить датчик измерения ускорений типа KD (измерительный преобразователь);

3. Измерительные приборы подсоединить согласно принципиальной схеме (рис.).

3. Приборы включить и прогреть в течение 30 минут.

4. Проверку установки проводить при следующих условиях окружающей среды: температура окружающего воздуха – $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$; относительная влажность воздуха – $(45-80)\%$; атмосферное давление – $(8,6-10,6) \cdot 10^4 \text{ Па}$.

При определении характеристик применять следующие средства измерений: осциллограф С8-13; усилитель ПУНЖ-1-002; датчик типа KD; источник питания Б5-47; выключатель бесконтактный ТУР: 9909-90 (ГДР); секундомер СОП пр 2а -3-000. Допускается замена указанных приборов на аналогичные, обеспечивающие требуемую точность измерений.



Принципиальная схема подсоединения измерительных приборов:

1 – Измерительный преобразователь ударных ускорений; 2 – Согласующий усилитель (с фильтрами); 3 – Регистрирующее устройство

Выбор сменной прокладки

Для проведения испытаний следует снабдить установку со свободно падающей платформой сменными прокладками, позволяющими воспроизводить, заданные по техническим условиям изделий, параметры ударной нагрузки, для этого следует обратиться к табличным значениям или при их отсутствии провести подбор.

Прокладка должна обеспечивать необходимую длительность удара, её можно определить аналитически.

Время столкновения τ можно найти, воспользовавшись законом сохранения энергии [8, 11]. Примем стержень недеформируемым. Перед столкновением стержня с прокладкой вся его энергия – это кинетическая энергия поступательного движения $mv^2/2$. Спустя время $\tau/2$ с начала столкновения скорости всех его частиц обращаются в нуль, а вся прокладка оказывается деформированной. Толщина про-

кладки уменьшилась на величину $\Delta\ell$ по сравнению с её недеформированным состоянием. В этот момент вся энергия стержня – это энергия W , которую ему передаёт сменная прокладка упругой деформацией. Эту энергию можно записать в виде:

$$W = \frac{k\Delta\ell^2}{2},$$

где k – коэффициент пропорциональности между силой и деформацией:

$$F = k\Delta\ell.$$

Этот коэффициент с помощью закона Гука выражается через модуль Юнга E и размеров прокладки:

$$y = \frac{F}{S} = E \frac{\Delta\ell}{\ell} \Rightarrow F = SE \frac{\Delta\ell}{\ell} \text{ и тогда } F = k\Delta\ell, \text{ откуда } k = \frac{ES}{\ell}.$$

Максимальная деформация $\Delta\ell$ равна тому расстоянию, на которое перемещаются частицы правого конца сменной прокладки за время $\tau/2$. Так как эти частицы двигались со скоростью v , то:

$$\Delta\ell = \frac{v\tau}{2}.$$

Приравниваем кинетическую энергию стержня до удара и потенциальную энергию деформации. Учитывая, что масса стержня

$$m = cS\ell,$$

и используя полученные выше соотношения для k и $\Delta\ell$, получаем:

$$cS\ell \frac{v^2}{2} = \frac{ES}{2\ell} \left(\frac{v\tau}{2} \right)^2 \Rightarrow \tau = 2\ell \sqrt{\frac{c}{E}}.$$

Полученная формула дает возможность по техническим требованиям подобрать количество матов известных характеристик, а также оптимизировать параметры матов.

Список литературы

1. Crawford K.R. и др. An Estimation of the Pneumatic Gun's Effectiveness // Военный сборник. 2014. № 2. С. 89–94.
2. Ganziy Y.V. и др. On the Issue of Examination of Penetration of Thin Plates by Low-Speed Penetrators // Вестник полиции. 2014. Vol. 1. № 1. P. 30-39.
3. Mitiukov N.W., Mokrousov S.A. Identification of Parameters Pneumatic Artillery for Submarines // Argonauta. The Newsletter of Canadian Nautical Research Society. 2009. Vol. XXVI. № 1. P. 22–24.
4. Rodygin M.P. Optimization of the Pneumatic Plant's Parameters for Crash-Tests of Shell Rings // European Journal of Technology and Design. 2014. Vol. 6. № 4. P. 184–188.

5. *Solomennikov N.N. & etc.* Rekonstrukcja historyczna ładowanej kaganiec artylerii: identyfikacja wyników symulacji // *Wschodnie partnerstwo – 2013: Materiały IX Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji (Przemysł, 07-15 września 2013 roku)*. Vol. 33. *Przemysł: Nauka i studia*, 2013. S. 62–63.
6. *Воротов А.В. и др.* Калькулятор по расчету пробиваемой брони артиллерийским снарядом // *Вестник КИГИТ*. 2011. № 5 (18). С. 27–32.
7. *Ганзий Ю.В.* Моделирование пенетрации тонкостенной оболочки // *Вестник КИГИТ*. 2010. № 5(14). С. 79–81.
8. *Ганзий Ю.В.* Моделирование пробивания тонкостенной оболочки низкоскоростным пенетратором // *Новый университет. Серия «Технические науки»*. 2011. № 2. С. 46–48.
9. *Ганзий Ю.В. и др.* Оценка снижения энергетических параметров снаряда при пробивании тонких пластин // *Вестник ИжГТУ*. 2012. № 3. С. 21–24.
10. *Митюков Н.В.* Идентификация аэродинамических параметров дозвуковых поражающих элементов // *Вестник КИГИТ*. 2013. № 1 (31). С. 56–63.
11. *Митюков Н.В.* Методики определения бронепробиваемости // *Морской сборник*. 2008. № 1. С. 37–41.
12. *Митюков Н.В. и др.* Внутренняя баллистика дульнозарядных гладкоствольных орудий // *Химическая физика и мезоскопия*. 2012. Т. 14. № 3. С. 371–375.
13. *Митюков Н.В. и др.* Верификация параметров гладкоствольной артиллерии // *Вестник КИГИТ*. 2012. № 1. С. 24–33.
14. *Митюков Н.В. и др.* Реконструкция параметров дульнозарядной гладкоствольной артиллерии // *Новый университет. Сер. "Технические науки"*. 2012. № 4. С. 63–68.
15. *Митюков Н.В., МакШерри П.М.* Применение имитационного моделирования для оценки эффективности пневматической пушки // *Вестник ИжГТУ*. 1999. 4. С. 6–9.
16. *Митюков Н.В., Мокроусов С.А.* Идентификация параметров пневматической артиллерии для подводных лодок // *Вопросы оборонной техники. Серия 16 "Технические средства противодействия терроризму"*. 2008. № 11–12. С. 35–38.
17. *Родыгин М.П.* Модель пневматической установки для ударных испытаний // *Новый университет. Сер. Технические науки*. 2014. № 5–6. С. 54–77.
18. *Соломенников Н.Н. и др.* Проблемът на устойчивост решения на проблема с историческа реконструкция на дулото на пушка // *Научният потенциал на света: Материали за 9-а международна научна практична конференция (София, 17–25 септември, 2013)*. Том 20. София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2013. С. 41–43.
19. *Соломенников Н.Н. и др.* Баллистические испытания со сферическим снарядом // *Молодежная наука в развитии регионов: Мат. IV Всерос. конф. студентов и молодых ученых (Березники, 23 апреля 2014 г.)*. Пермь: Березниковский филиал Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. С. 314–316.
20. *Соломенников Н.Н.* Математическая модель пиротехнической установки для испытания ракетной техники // *Новый университет. Сер. "Технические науки"*. 2013. № 8–9. С. 110–118.

Подписано в печать 25.02.2014. Формат 60×84/16.
Гарнитура Minion Pro. Усл. печ. л. 3,8. Уч.-изд. л. 4,1.
Тираж 300 экз. Заказ № 599.

Редакционно-издательский отдел
Камского института гуманитарных и инженерных технологий
426003, г. Ижевск, ул. Вадима Сивкова, 12 А.