

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

*90-летию Сибирского государственного
индустриального университета посвящается*

**ВЕСТНИК
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 42

Москва
Новокузнецк
2019

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 42 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянцев (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2019 – 191 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 66, табл. 22, библиогр. назв. 170.

Редакционная коллегия: Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, АО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянцев М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИргТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спирин Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., СибГИУ, г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Белов Н.А.	д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва
Волокитин Г.Г.	д-р техн. наук, проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Деев В.Б.	д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва
Никитин А.Г.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Ноздрин И.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Оршанская Е.Г.	д-р пед. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Перетяцько В.Н.	д-р техн. наук, проф., д.ч. АИН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Руднева В.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Темлянцев М.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Фастыковский А.Р.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Шур Е.А.	д-р техн. наук, проф., ВНИИЖТ, Москва

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.....	7
<i>А.А. Уманский, Я.В. Денисов</i> Исследование влияния параметров производства слитков конвертерной стали на качество их внутренней структуры.....	8
<i>А.А. Уманский, А.В. Головатенко, А.С. Симачев, О.А. Решетнев</i> Анализ влияния параметров производства электростали на качественные показатели рельсов.....	16
<i>А.А. Уманский, А.В. Головатенко, А.С. Симачев</i> Исследования состава и распределения неметаллических включений по сечению рельсовых профилей	22
<i>В.Б. Деев, А.И. Куценко, О.Г. Приходько, Е.С. Прусов, А.А. Соколев</i> Влияние внешних воздействий на процессы кристаллизации сплавов и затвердевания отливок.....	28
<i>А.Г. Никитин, К.С. Медведева, П.Б. Герике</i> Экспериментальное исследование процесса разрушения кусков ферросплава в одновалковой дробилке с упором на валке	37
<i>А.Г. Никитин, А.В. Абрамов, В.В. Горяшин</i> Исследования работы щековой дробилки с устройствами выборки зазоров в шарнирах	40
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	43
<i>Т.И. Алексеева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, С.Г. Галевский</i> Освоение технологии производства нанокристаллического карбида циркония.....	44
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ.....	49
<i>С.С. Мишуров, В.Б. Деев, Н.А. Белов, А.А. Соколев</i> Разработка высокопрочного литейного сплава на основе системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni	50
<i>С.С. Мишуров, В.Б. Деев, С.М. Дубинский, А.А. Соколев</i> Исследование литейных свойств, структуры и свойств высокопрочных сплавов системы Al-Zn-Mg-Ni-Fe	54
<i>В.В. Дорошенко, В.Б. Деев, Н.А. Белов</i> Исследование жидкотекучести сплавов на основе алюминиево-кальциевой эвтектики.....	63
<i>В.В. Дорошенко, В.Б. Деев, Н.А. Белов</i> Исследование возможности использования шихты с повышенным содержанием железа при получении сплавов на основе алюминиево-кальциевой эвтектики	66

<i>С.С. Мишууров, В.Б. Деев, С.М. Дубинский, А.А. Соколев</i> Разработка методов удаления деформированного слоя с поверхности пористых изделий из безникелевого титанового сплава биомедицинского назначения	69
<i>В.Н. Цвигун, Е.А. Шур, Р.С. Койнов</i> Микродеформации и разрушения вблизи вершины трещины при монотонном нагружении.....	76
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	86
<i>О. Шлик, А. Шлик, А. Шлик</i> Акустическая компьютерная система Accusteel контроля и управления технологическим процессом электродугового и конвертерного переделов стали - технология XXI века	87
<i>А.М. Анасов</i> Техногенные катастрофы и их предупреждение	107
<i>С.В. Кривошеев, О.И. Гордиевский, И.В. Ноздрин</i> Использование отвальных шламов химических предприятий в качестве вторичного металлургического сырья.....	119
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	126
<i>С.Г. Коротков, М.В. Темлянцев, В.В. Стерлигов</i> Кафедре теплоэнергетики и экологии Сибирского государственного индустриального университета 85 лет. Дела. События. Люди	127
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> Кафедра металлургии цветных металлов и химической технологии СибГИУ - 50 лет в образовании и науке	142
<i>А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяцько</i> Этапы становления кафедры «Обработка металлов давлением и металловедения. ЕВРАЗ ЗСМК».....	159
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	171
<i>Е.Г. Оршанская</i> Особенности академического билингвизма в условиях обучения в вузе	172
<i>С.В. Шемберг</i> Обучение техническому переводу: сложности перевода антропонимов.....	178
ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ И БИОГРАФИИ.....	182
<i>Г.Г. Волокитин</i> Рецензия на монографию «Диборид титана. Нанотехнология, свойства, применение» (Авторы Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 209 с.).....	183
<i>Г.Г. Волокитин</i> Рецензия на учебное пособие «Оборудование и технология производства сверхтвердых материалов» (Авторы Г.В. Галевский, В.В. Руднева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 211 с.).....	186
К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ	189

С.В. Кривошеев, О.И. Гордиевский, И.В. Ноздрин

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАМОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

В работе рассмотрены характеристики отвальных цинксодержащих шламов химических предприятий по производству искусственных волокон Сибирского федерального округа. Систематизированы данные по количеству, химическому и фазовому составу шламов. Показана возможность пиро- и гидрометаллургической переработки данных материалов. Показана необходимость предварительной подготовки шламов к переработке. Сформулированы технологические рекомендации для разработки экономически рентабельных процессов получения товарных сульфата и оксида цинка.

In work characteristics dump the containing zinc slimes of the chemical companies for production of artificial fibers of Siberian Federal District are considered. Data on quantity, the chemical and phase composition of slimes are systematized. An opportunity pyro- and hydrometallurgical processing of these materials is shown. Need of preliminary preparation of slimes for processing is shown. Technological recommendations for development of economically profitable processes of receiving commodity sulfate and oxide of zinc are formulated.

Цинк относится к группе основных по объемам производства и потребления цветных металлов. В 2018 г его производство составило около 14 млн. тонн уступая лишь алюминию и меди. При этом потребление цинка неуклонно растет год от года. В связи с этим пропорционально увеличивается количество цинксодержащих отходов и неизбежно встают вопросы по их утилизации. Отечественной цинковой отраслью в настоящее время освоены процессы переработки богатых отходов с содержанием цинка более 30 %, а более бедные материалы практически не используются в связи с высокими затратами на их доставку [1]. Однако рост количества накопленных отходов, обострение экологических вопросов, связанных со складированием и хранением и ужесточение природоохранного законодательства выводит задачу их переработки на первый план. Достаточно высокие цены на основные цветные металлы на мировом рынке делает решение данной задачи экономически привлекательной.

Инициатором активных работ в этом направлении стал флагман российской цинковой отрасли – Челябинский цинковый завод. Вопросы исполь-

зования вторичного сырья встали на повестку дня из-за острого дефицита цинковых концентратов, обусловленного недоступностью отечественного сырья, связанного с переделом собственности в добывающих отраслях, возросшей стоимостью цинка на мировом рынке и затрат на логистику вследствие роста тарифов на перевозки. В рамках заводской программы «Сырье» были предприняты усилия по расширению рудной базы цинковых концентратов, аттестованы характеристики и запасы вторичного цинка, представленные отходами предприятий черной и цветной металлургии, а также ряда химических производств, проведены исследовательские и проектные работы по внедрению новых и модернизации действующих технологических процессов для переработки вторичного сырья. К данным работам привлекались сотрудники и студенты Сибирского государственного индустриального университета. Исследования проводились совместно с инженерно-техническим центром Челябинского цинкового завода.

Для разработки эффективной технологии извлечения цинка из отходов, в первую очередь, необходимо аттестовать данные материалы по количеству и составу. В работе обобщены сведения о видах, количестве и химическом составе цинксодержащих шламов от очистки сточных вод и отработанных технологических растворов отечественных предприятий по производству искусственных волокон и проведена комплексная аттестация запасов, химического и минералогического состава шламов предприятий по производству искусственных волокон Западно-Сибирского региона (ООО «Сибволокно», ООО «Красноярские волокна»). Общее количество накопленных цинксодержащих материалов оценивается около 1,5 млн. тонн (до 200 тыс. тонн по цинку). В таблице 1 обобщены сведения из доступных литературных источников по количеству цинксодержащих шламов различных химических производств, имеющих схожий химический и вещественный состав [2]. Количество цинка в шламах сопоставимо с годовыми программами крупных цинковых заводов.

Таблица 1 – Характеристики шламов химических предприятий

Предприятие	Кол-во цинка в шламах, тыс. т	Содержание цинка с шламах, %
ООО «Сибволокно» г. Зеленогорск, Красноярский край	25,0	18,0-42,0
ООО «Красноярские волокна», г. Красноярск	20,0	10,0-22,0
Балаковский завод волокнистых мат-лов, г. Балаково, Саратовская область	103,0	13,0-24,0
РУП ПО «Химволокно», г. Светлогорск, Белоруссия	24,0	34,0-42,0
ПО «Химволокно», г. Калинин	15,0	9,0-12,0
НПО «Химволокно», г. Барнаул	2,0	24,0-26,0
ОАО «Азот», г. Кемерово	0,8	24,0-34,0

На примере разработок способов утилизации цинксодержащих отходов и опыта их применения на предприятиях Сибирского федерального округа (ООО «Сибволокно», ООО «Красноярские волокна» и др.) разработаны технологические рекомендации, обеспечивающие максимальную эффективность процессов переработки подобных материалов.

Цинксодержащие шламы образуются при производстве искусственных волокон по технологии, где используется сульфат цинка для формирования волокон через фильеры. Осадительная ванна - водный раствор, содержащий серную кислоту, сульфат цинка и сульфат натрия. Струи, выходящие из фильеры, осаждаются (коагулируют) вследствие образования цинк - ксантогенатных связей и десольватирующего действия электролитов. Нейтрализуют отработанный раствор кальцинированной содой или известковым молоком. В итоге образуется суспензия карбоната цинка, которая направляется в отстойник. Осадок представляет собой пастообразный, немного липкий порошок грязно-серого цвета, не растворимый в воде [3].

По данным технических отчетов предприятий установлено, что общее количество цинка в шламоотстойниках «Красноярских волокон» и «Сибволокна» и составляет около 20 000 и 25 000 тн по цинку соответственно при среднем содержании цинка от 14 до 32 %. Для аттестации химического, гранулометрического и фазового состава шламов производился отбор проб из различных мест отстойников с помощью стальных штанг: по периметру отстойников в теплое время года, с поверхности - зимой. Глубина отбора проб варьировалась от 0,3 до 4 м. Установлено, что цвет образцов зависит от содержания основных примесей и изменяется от светло-серого до светло-коричневого или бурого. Во всех образцах присутствуют остатки целлюлозного волокна существенно повышающие влагоудерживающую способность шлама. Материал представляет собой глиноподобную массу влажностью от 40 до 80%. Крупность частиц материала находится в пределах 0,1 – 2,5 мм. Насыпной вес отобранных проб находится в диапазоне 0,87 – 1,25 г/см³, а плотность (истинная) 1,60 – 1,68 г/см³ [4].

Результаты химического анализа отобранных проб приведены в таблице 2. Для сравнения приведены составы цинксодержащих шламов производства искусственных волокон на Балаковском заводе волокнистых материалов и Светлогорского РУП «Химволокно» (республика Беларусь), аттестованных в химической лаборатории Челябинского цинкового завода.

Анализ химического и фазового состава шламов показывает, что цинк в них представлен карбонатами, сульфатами и сульфидами. Основными балластными примесями являются оксиды кальция и кремния. Наблюдается большой разброс данных по химическому составу шламов даже в пределах одного предприятия, что определено как изменениями параметров технологических режимов предприятий, так и условиями складирования и хранения отходов. Общее содержание цинка в рассматриваемых материалах варьируется в пределах 11 – 47 %, окиси кальция – 2-10 %, окиси кремния – 1-11%. Подтверждено наличие сульфидной серы в образцах шламов, достигающих, в

некоторых случаях, 2 %. Следует отметить наличие в шламах остатков целлюлозного волокна и, в ряде случаев, следов органических примесей, которые негативно влияют на процессы прямого выщелачивания шламов и фильтрования продуктов. Влажность шламов в шламонакопителях составляет 70-90 %, после естественной сушки на воздухе снижается до 30-40 %.

Таблица 2 – Химический состав цинксодержащих шламов предприятий искусственных волокон

Компонент	Химический состав образцов шлама, % масс.			
	Красноярск	Зеленогорск	Балаково	Светлогорск
Цинк общий	10,8 - 22,3	14,2 - 29,6	21,2	46,7
Цинк растворим.	н/о	18,6	13,6	45,7
Цинк водораств.	н/о	0,33	0,12	0,36
Железо	0,80 - 1,65	1,92 - 2,70	1,5	1,55
Свинец	0,029	0,21	0,041	0,13
Кадмий	н/о	0,0004	0,005	0,0033
Медь	0,022	0,009	0,011	0,011
Никель	н/о	0,012	0,009	0,011
Кобальт	н/о	0,004	0,0031	0,0023
Олово	н/о	0,023	0,041	Н/о
Хлор	н/о	0,071	н/о	0,028
Фтор	н/о	0,044	н/о	0,005
Алюминий	0,95	3,05	н/о	н/о
Мышьяк	н/о	0,007	0,0026	0,001
Сурьма	н/о	0,0025	0,0018	0,0048
Кремнезем	0,5	7,21	11,2	10,97
Оксид кальция	н/о	1,73	10,3	0,19
Сера общая	н/о	16,27	16,9	1,76
Оксид магния	н/о	Н/о	0,79	0,24

Несмотря на схожесть технологий получения синтетических волокон и переработки сточных вод на этих предприятиях содержание цинка и минералогический состав отобранных проб существенно отличается. Так в образцах шламов с ООО «Красноярские волокна» содержание цинка существенно ниже, чем в пробах, отобранных на ООО «Сибволокно». Кроме того, содержание примесей в первом случае значительно выше – по всей видимости это определяется тем, что в шламонакопители направлялись сточные воды со всех смежных производств, в том числе и хозяйственные. Высокое содержание цинка в шламах Светлогорского РУП «Химволокно» объясняется использованием для нейтрализации кислых стоков раствора каустической соды вместо известкового молока на остальных сравниваемых предприятиях.

Достаточно высокое содержание цинка, фазовый состав и незначительное содержание «критических» примесей позволяют перерабатывать данные материалы на действующих производствах по производству цинка. Опыт переработки шламов подтверждает эффективность применения для этих целей

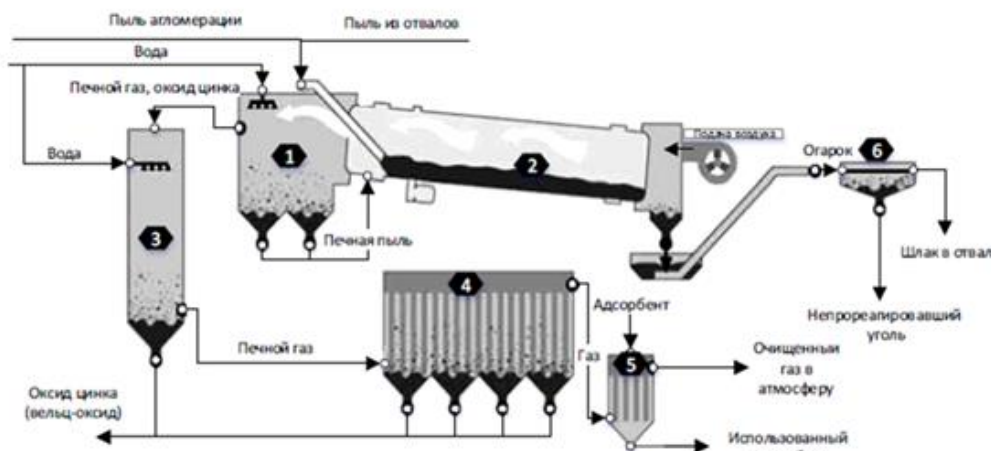
процесса вельцевания [5]. Экономически эффективное содержание цинка в шламах, при этом, должно превышать 14%. Прямое выщелачивание шламов показывает низкое извлечение цинка, сопровождаемое расстройством штатного технологического процесса. Это связано с наличием в данных материалах карбонатов и органических примесей, обусловленных присутствием остатков вискозного волокна и продуктов жизнедеятельности сложившегося биоценоза в районе размещения шламонакопителей. Таким образом, для удаления органической составляющей в исследуемых материалах рекомендуется введение технологической стадии окислительного обжига (прокалки) шламов.

В связи со сложившейся структурой географического расположения в России действующих цинковых заводов расстояние до ближайших предприятий составляет не менее 2000 км, что не позволяет обеспечить текущую положительную рентабельность доставки шламов и извлечения цинка из-за высоких логистических затрат даже при сравнительно высоких ценах на цинк, превышающих в настоящее время 2000 долларов за тонну. Этот факт вызывает необходимость разработки мобильных технологий переработки шламов на месте.

К заслуживающим внимания, следует отнести предложение по переработке подобных материалов по стандартной схеме карботермического восстановления шламов коксом или углем во вращающейся трубчатой печи для обжига керамзита [6]. Принципиальная технологическая схема вельцевания приведена на рисунке 1. Существенное снижение капитальных затрат достигается за счет использования широко распространенного стандартного оборудования для получения керамзита, а высокая концентрация цинка в получаемой вельцоокси (более 50 %) делает процесс переработки высокорентабельным. К недостаткам рассматриваемой технологии следует отнести необходимость использования дорогостоящего специфического оборудования, применения громоздкой системы охлаждения отходящих газов и улавливания вельцоокси, а также высокие профессиональные требования к обслуживающему процесс персоналу.

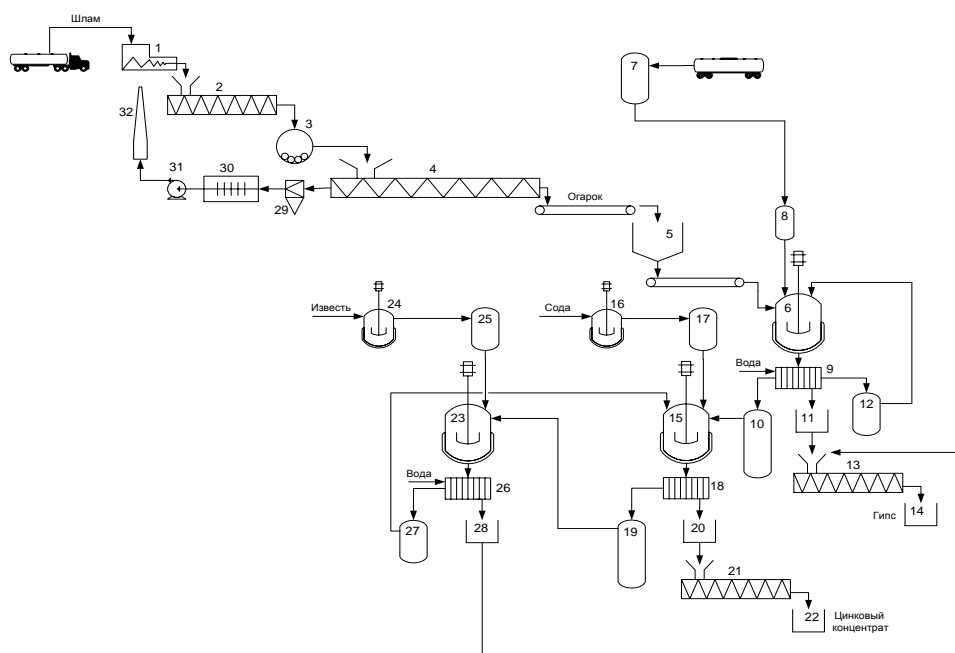
Учитывая особенности расположения рассматриваемых химических предприятий, сложившуюся приобъектную инфраструктуру, обеспеченность кадровыми ресурсами и конъюнктуру потребления возможных продуктов в качестве базовой технологии по переработке цинксодержащих шламов, по нашему мнению, в настоящее время наиболее целесообразно рассматривать гидрометаллургическую схему извлечения цинка в виде сульфата или оксида цинка. Применение таких процессов обеспечивает возможность использования высокопроизводительного стандартного оборудования, обеспечивающего высокие технологические показатели и дешевых недефицитных реагентов для выщелачивания, например, серную кислоту. Высокая мобильность, перенастраиваемость и корректировка технологического процесса выщелачивания, очистки растворов и выделения готовых продуктов обеспечивает получение материалов высокого качества при низкой себестоимости. В качестве примера на рисунке 2 приведена одна из возможных аппаратурно-технологических схема гидрометаллургической переработки шламов вискозного производства

[7]. Особенностью предлагаемых технологий является необходимость включения обязательной сушки и прокалики шламов, что обусловлено их высокой влагоудерживающей способностью и наличия органических примесей.



1 – камера осаждения печной пыли; 2 – трубчатая печь; 3 – холодильник; 4 – рукавный фильтр; 5 - камера доочистки газа; 6 – сепаратор.

Рисунок 1 – Схема вельцевания цинксодержащих шламов



1 – шнековый питатель влажного шлама; 2 – сушильный барабан; 3 – шаровая мельница; 4 – вращающаяся обжиговая печь; 5 – бункер охлажденного огарка; 6 – реактор выщелачивания; 7 – бак для хранения серной кислоты; 8 – бак-дозатор серной кислоты; 9,18,26 – фильтр-прессы; 10,19 – накопительный бак для раствора; 11,14,22,28 – емкости для твердых продуктов (кеков); 12,27 – накопительный бак для промвод; 13 – сушильный (прокалочный) барабан для гипса; 15 – реактор осаждения цинкового концентрата; 16 – реактор приготовления содового раствора; 17 – бак-дозатор содового раствора; 21 – сушильный барабан для цинкового концентрата; 23 – реактор для регенерации щелочи; 24 – реактор для приготовления известкового молока; 25 – бак-дозатор известкового молока; 29 – циклон; 30 – электрофильтр; 31 – дымосос; 32 – санитарная труба.

Рисунок 2 – Аппаратурная схема переработки шламов вискозного производства

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов А.В. Металлургическая переработка вторичного цинкового сырья / А.В. Тарасов, А.Д. Бессер, В.И. Мальцев. – М.: Гинцветмет, 2004, 219 с.
2. Павловская Е.Д. Комплексная аттестация цинксодержащих шламов предприятий по производству искусственных волокон Язупадно-Сибирского региона / Е.Д. Павловская, Е.А. Чистюхин, Х.О. Джалолов, И.В. Ноздрин. - Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : сб. тр. Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Сиб. гос. индустр. ун-т ; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – Вып. 21. – Ч. II. Естественные и технические науки. – С. 275 – 277.
3. Серков А. Т. Вискозные волокна / А. Т. Серков - М.: «Химия», 1981. – 296 с.
4. Тарасов А.В. Производство цветных металлов и сплавов. Справочник в 3-х томах. Т. 3. Вторичная металлургия тяжелых цветных металлов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2008., С. 199 – 206.
5. Козлов П.А. Вельц-процесс / П.А. Козлов. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002. - 197 с.
6. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование возможности утилизации цинксодержащих шламов ОАО «Сивинит». - ООО «Аэрационные системы», г. Красноярск, 2011.- 48 с.
7. Технологический регламент производства по получению цинкового купороса. – ТОО Проектно-инжиниринговый центр «Литера 3» г. Усть-Каменогорск, 2010. - 57с.