ISSN 2221-5638

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ

БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ

научно-технический журнал

4 (59) | 2022

4 (59) | 2022
«ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

ISSN 2221-5638

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

КУРБАЦКИЙ Евгений Николаевич — врио председателя совета, д-р техн. наук, проф. кафедры «Мосты и тоннели» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ))

УЗДИН Александр Михайлович — заместитель председателя совета, д-р техн. наук, проф. кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

ЗААЛИШВИЛИ Владислав Борисович — заместитель председателя совета, д-р физ.-мат. наук, проф., научный руководитель Геофизического института — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук» (ГФИ ВНЦ РАН)

АБАКАНОВ Миркен Сейткасымович — д-р техн. наук, ст. науч. сотр., советник генерального директора по производственным вопросам Акционерного общества «Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры» (АО «КазНИИСА»)

АЛИЕВ Вугар Амир оглы — д-р физ.-мат. наук, проф., вед. науч. сотрудник Института Физики НАН Азербайджана, ген. директор Международной Компании «AMIR Technical Services LLC»

АПТИКАЕВ Феликс Фуадович — д-р физ.-мат. наук, проф. геофизики, гл. науч. сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН)

БЕЛАШ Татьяна Александровна — д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки Российской Федерации, зав. кафедрой «Здания» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

ИЛЬИЧЕВ Вячеслав Александрович — д-р техн. наук, проф., академик РААСН, вице-президент по направлению «Инновации» Федерального государственного учреждения «Российская академия архитектуры и строительных наук» (РААСН)

КОТЕЛЬНИКОВ Владимир Семенович — д-р техн. наук, проф., ген. директор ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность», президент Национального лифтового союза

МАЖИЕВ Хасан Нажоевич — д-р техн. наук, проф., академик МАНЭБ, зав. кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, зам. директора ФГБУН Комплексный научно-исследовательский институт им. Х. И. Ибрагимова РАН, президент Фонда поддержки и развития сейсмостойкого строительства «Защита и безопасность города» — «Сейсмофонд»

МЕШАЛКИН Евгений Александрович — д-р техн. наук, проф., председатель правления Федеральной палаты пожарно-спасательной отрасли и обеспечения безопасности

МИРФАТУЛЛАЕВ Мир-Гусейн Мир-Шамиль оглы — д-р техн. наук, Президент Саморегулируемой организации Союз «Межрегиональное объединение инженерно-строительных предприятий» (СРО Союз «МОИСП»)

МИТАСОВ Валерий Михайлович — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Железобетонные конструкции» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВПО «СибСТРИН»)

МОНДРУС Владимир Львович — д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РААСН, зав. кафедрой «Строительная и теоретическая механика» (СиТМ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

МУСАЕВ Вячеслав Кадыр оглы — д-р техн. наук, проф. кафедры «Техносферная безопасность» (РУТ (МИИТ))

НЕМЧИНОВ Юрий Иванович — д-р техн. наук, проф., Заслуженный строитель Украины, академик Академии строительства и академии инженерных наук Украины, первый зам. директора ГП «Научно-исследовательский институт строительных конструкций» Минрегиона Украины

ПАВЛЕНКО Ольга Витальевна — д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник лаборатории экспериментальной геофизики Институт физики Земли О. Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН)

ПУСТОВИТЕНКО Бэлла Гавриловна — д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотрудник ГАУ «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений»; вед науч. сотрудник Института сейсмологии и геодинамики Крымского Федерального Университета им. В. И. Вернадского

ПШЕНИЧКИНА Валерия Александровна — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой Строительных конструкций, оснований и надежности сооружений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ВолгГТУ)

РАЙЗЕР Владимир Давидович — д-р техн. наук, проф., научный консультант Ассоциации «Проблемы надежности и безопасности конструкций» (Associations «Problems of reliability and safety of structures»)

СТАВНИЦЕР Леонид Рувимович — д-р техн. наук, проф., начальник Экспертно-аналитического отдела Научно-исследовательского, проектно-изыскательского и конструкторско-технологического института оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н. М. Герсеванова — АО «НИЦ «Строительство»

ТРАВУШ Владимир Ильич — д-р техн. наук, проф., академик РААСН, Заслуженный строитель РФ, Заслуженный деятель науки РФ, Вице-президент РААСН, зам. ген. директора по научной работе ЗАО «ГОРПРОЕКТ»

ХАЧИЯН Эдуард Ефремович — д-р техн. наук, проф., академик НАН Республики Армения, зав. кафедрой Армянского национального университета архитектуры и строительства

ЭКСПЕРТЫ (РЕЦЕНЗЕНТЫ)

БАРАННИКОВ Владимир Георгиевич — канд. техн. наук (ООО «ВостокПромПроект»);

ГРАНОВСКИЙ Аркадий Вульфович — канд. техн. наук, доц. (НИУ МГСУ)

КАЗИЕВ Махач Магомедович — канд. техн. наук, проф. (Академия ГПС МЧС России)

КЛЯЧКО Марк Абрамович — канд. техн. наук (АНО «РАДАР»)

НИГМЕТОВ Геннадий Максимович — канд. техн. наук, доц. (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ))

ПРОНИН Денис Геннадиевич — канд. техн. наук (ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»)

СТРОМ Александр Леонидович — канд. геол.-минерал. наук (ЦСГНЭО — филиал АО «Институт Гидропроект»)

ТОЛОК Алексей Вячеславович — канд. техн. наук, проф. (ИПУ РАН)

ХАКИМОВ Шамиль Абдуллаевич — канд. техн. наук, Заслуженный строитель Узбекистана (ОАО «ToshuyjoyLITI»)

ЭРТЕЛЕВА Ольга Олеговна — канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник (ИФЗ РАН)

04 (59)/2022

входит в перечень ВАК

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

«ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
АКБИЕВ Рустам Тоганович, кандидат технических наук

Шеф-редактор
ЗАБОЛОЦКАЯ Елена Николаевна, Почетный строитель России

Члены редакционной коллегии:
ЗАБОЛОЦКИЙ Антон Дмитриевич
МАНИН Сергей Петрович
МОРОЗОВА Татьяна Викторовна
НОСОВ Борис Алексеевич
ШОЛЛЕНБЕРГ Евгения Федоровна

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Россия, 105037, г. Москва, ул. Первомайская, д. 16-24
Тел.: +7 (906) 066-98-86; + 7 (916) 563-23-38
E-mail: akbi1963@gmail.com, ntd-ntpi@mail.ru

Издатель:
Евразийская СЕЙСМО Ассоциация (EACA)
119331, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 29
Тел.: +7 (499) 705-67-12, E-mail: office@seismo.pro

Типография:
АС «СРОСЭКСПЕРТ»
111024, г. Москва, ул. Душинская, д. 9
Тел.: +7 (499) 705-67-17; E-mail: office@spec-expert.ru

Дата выхода журнала: 13 сентября 2022 года

Научно-технический журнал «Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений» зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–27300 от 22 февраля 2007 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Журнал входит в систему российской научной электронной библиотеки, интегрированной с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) — eLIBRARY.ru

Порядок представления и оформления рукописи статьи на 15 стр.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ:

Индекс 62009

Почта России (ФГУП)
Альтернативные подписные агентства — Урал-Пресс (ООО), Информнаука (ООО) и др.

В редакции можно приобрести комплект или отдельные номера журнала.

Учредители:
Акбиев Р. Т., Заболоцкая Е. Н.

Тираж 300 экз. Свободная цена.
Периодичность 6 (шесть) номеров в год

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов

Обложка: *фото из открытых источников*

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ 4

СПРАВКА О ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 12

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Абаканов М. С.
О новых нормах по сейсмостойкому строительству Республики Казахстан 16

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ, ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

Кравченко А. А., Смирнов А. Г.
Усиление мостовых опор на дороге Талдыкорган – Колбатау – Усть-Каменогорск 23

АУДИТ БЕЗОПАСНОСТИ. ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

Лапин В. А., Алдахов Е. С., Алдахов С. Д., Али А. Б.
Методы и практика оценки сейсмической уязвимости зданий и сооружений в Казахстане 26

БЕЗОПАСНОСТЬ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

Арынгазин К. Ш., Ларичкин В. В.
Опыт внедрения технологий получения строительных материалов и изделий на основе отходов промышленности Павлодар-Экибастузского региона 33

Бернацкий А. Ф.
Использование золошлаковых отходов при производстве строительных материалов. Опыт Новосибирской области 40

Столбоушкин А. Ю., Спиридонова И. В.
Предложения по комплексной переработке минеральных отходов металлургических предприятий 45

КОНФЕРЕНЦИИ. СИМПОЗИУМЫ. СОВЕЩАНИЯ

Резолюция Евразийского инновационного форума «Актуальные проблемы застройки и безопасности крупных городов»
(15-17 июня 2022 года, г. Алматы, Республика Казахстан) 53

III Уральские ТИМ чтения: Технологии информационного моделирования в архитектуре и строительных науках – научная часть Международного форума и выставки 100+TechnoBuild, направление ТИМ
(21 октября 2022 года, г. Екатеринбург) обл.

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА

Поздравляем Мажиева Хасана Нажоевича с 70-летием! 58

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Своды правил, утвержденные Минстроем России и зарегистрированные в Росстандарте в 2022 году 59

АВТОРЫ НОМЕРА обл.

CONTENTS

4 NEWS

13 SUMMARY ON EMERGENCIES ON THE RUSSIAN FEDERATION TERRITORY

TECHNICAL REGULATION AND DEVELOPMENT OF DESIGN CODES

Abakanov M.S.
16 **About new standards on earthquake-resistant construction of The Republic of Kazakhstan**

SAFETY OF EARTH STRUCTURES, BASES AND FOUNDATIONS

Kravchenko A.A., Smirnov A.G.
23 **Strengthening of bridge supports on the Taldykorgan – Kolbatau– Ust-Kamenogorsk road**

SAFETY AUDITING. RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT

Lapin V.A., Aldakhov Y.S., Aldakhov S.D., Ali A.B.
26 **Methods and practice for assessing the seismic vulnerability of buildings and structures in Kazakhstan**

WASTE MANAGEMENT SAFETY

Aryngazin K.Sh., Larichkin V.V.
33 **Experience in implementing technologies for obtaining construction materials and products based on industrial waste of Pavlodar-Ekibastuz region**

Bernatsky A.F.
40 **The use of ash and slag waste in the production of building materials. Experience of the Novosibirsk region**

Stolboushkin A.Y., Spiridonova I.V.
45 **Proposals for integrated processing of mineral waste from metallurgical enterprises**

CONFERENCES. SYMPOSIA. MEETINGS

37 **Resolution of the Eurasian Innovation Forum «Actual problems of development and security of large cities»** (June 15-17, 2022, Almaty, Republic of Kazakhstan)

folder **III Ural TIM Readings: Information Modeling Technologies in Architecture and Construction Sciences – scientific part of the International Forum and Exhibition 100+TechnoBuild, TIM direction** (October 21, 2022, Yekaterinburg)

CONGRATULATIONS OF THE HERO OF THE DAY

58 **Congratulations to Mazhiev Hasan Nazhoevich on his 70th birthday!**

OFFICIAL DOCUMENTS

59 **Codes of rules approved by the Russian Ministry of construction and registered in Rosstandart in 2022**

folder AUTHORS OF THE ISSUE

Столбоушкин А. Ю., д-р техн. наук, проф.,
Спиридонова И. В., канд. техн. наук, доц.
(ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Кемеровская область – Кузбасс)

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Участники Евразийского инновационного форума
«Актуальные проблемы застройки и безопасности крупных городов»
(15-17 июня 2022 года, г. Алматы, Республика Казахстан)

Показана необходимость рационального использования природных ресурсов на современном этапе за счет использования крупнотоннажных техногенных отходов в качестве сырья для производства строительных материалов. Обозначены проблемы эффективной утилизации отходов металлургических предприятий в строительной сфере, связанные, прежде всего, с непостоянством их химического, гранулометрического и минералогического составов. На примере промышленного региона разработана схема комплексной переработки отходов теплоэнергетических объектов металлургических предприятий. В зависимости от разновидности золошлаковых отходов текущего выхода сгруппированы основные направления по их применению в различных сферах производственно-хозяйственной деятельности. Представлена схема комплексной переработки металлургических шлаков. Выделены три основных направления по переработке алюмосиликатных отходов металлургии: использование шлаковых расплавов для каменного литья, быстрое (жидкостное) или медленное (естественное) охлаждение шлаков для получения различных строительных материалов и изделий.

Ключевые слова: комплексная переработка минеральных отходов, техногенное сырье для производства строительных материалов, зола-унос, металлургические шлаки

К одной из актуальных проблем при строительстве и безопасной эксплуатации крупных городов на Евразийском континенте можно отнести рациональное использование природных ресурсов. Одновременно на фоне истощения запасов минерального сырья для производства строительных материалов и изделий часто наблюдается неконтролируемое накопление «побочных продуктов» жизнедеятельности человека, которое приводит к загрязнению окружающей среды и значительному ухудшению экологической обстановки [1].

В результате промышленного производства в индустриальных регионах России происходит интенсивное образование крупнотоннажных производственных отходов (примерно 2-2,5 млрд т ежегодно) [2] – [5]. По различным оценкам эти отходы занимают более 300 тыс. га земель территории страны, а их общее количество насчитывает более 80 млрд т [6].

Наибольшее количество промышленных отходов в России располагается в Северо-Западном, Центральном, Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральном округах. Особенно сложная обстановка складывается в Кузбассе, так как регион практически лидирует по количеству их образования в России. Накопленные отходы занимают площадь более 40 тыс. га, а их общая масса превышает 20 млрд т. В результате нагрузка складируемых отходов на единицу площади в Кузбассе составляет 13600 т/км^2, в Новокузнецке – 21700 т/км^2 при среднероссийском показателе 146 т/км^2 [7].

Сегодня промышленность строительных материалов является наиболее «материалоемкой» отраслью из всех потенциальных потребителей промышленных отходов или как их еще часто называют техногенных отходов. Это обусловлено, прежде всего, минеральным составом техногенных отходов, большая часть которых состоит преимущественно из силикатов и алюмосиликатов кальция и магния. В связи с этим в отечественном недропользовании был введен термин «техногенные месторождения». Он определяет их как скопления минеральных веществ на поверхности Земли или в горных выработках, образовавшиеся в результате отделения от массива и складирования в виде отходов горного, обогатительного, металлургического и других производств и пригодные по количеству и качеству сырья для промышленного использования [8].

Наряду с горнодобывающей и энергетической промышленностью металлургия относится к наиболее отходоемким отраслям. Например, на юге Кузбасса в результате многолетней работы объединенного металлургического комбината АО «Евраз ЗСМК» в Новокузнецке накоплены десятки миллионов тонн золошлаковых отходов и шлаков металлургического производства, ухудшающих экологическую обстановку в городе [9]. Эти отходы также имеют алюмосиликатную природу и могут содержать до 80% углекислого кальция в виде силикатов кальция и магния [10], [11].

Таблица 1 – Химический состав золы и шлака ЗС ТЭЦ

Наименование компонента	Содержание оксидов, в % на сухое вещество											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	R_2O	TiO_2	SO_3	P_2O_5	Mn_3O_4	ппп
Зола	58,7	25,5	5,6	0,0	6,0	1,9	2,2	0,0	0,62	0,0	0,75	3,2
Шлак	55,4	26,1	8,6	0,0	6,3	1,7	2,7	0,0	0,06	0,0	0,94	0,0

Рисунок 1 – Комплекс по переработке сталеплавильных шлаков на промплощадке АО «Евраз ЗСМК»

Однако основными препятствиями на пути эффективного использования отходов металлургических предприятий в производстве строительных материалов являются непостоянство их химического, гранулометрического и минералогического составов, наличие металлических включений и др., что ограничивает применение техногенных отходов в производстве вяжущих материалов, заполнителей и других видах продукции [12], [13].

В перспективе решение проблемы возможно за счет создания участков предварительной подготовки промышленных отходов, обеспечивающей усреднение их вещественного состава и доведение до «кондиционных» требований к техногенному сырью, с последующей комплексной переработкой минеральной части в производстве строительных материалов.

Целью настоящего исследования являлась разработка предложений по комплексной переработке минеральных отходов металлургических предприятий в технологии строительных материалов и изделий.

Результаты и обсуждение

На протяжении нескольких десятилетий в Сибирском государственном индустриальном университете (г. Новокузнецк) на постоянной основе проводятся исследования по переработке отходов металлургии и других сопряженных отраслей в производстве строительных материалов. Учеными совместно с одним из дочерних предприятий Кузнецкого металлургического комбината ООО «Сталь НК» был разработан и внедрен проект «Мартеновские шлаки и их использование в металлургии и других отраслях народного хозяйства» [14]. Технологический комплекс по переработке сталеплавильных шлаков приведен на рисунке 1. Успешный опыт работы установки показал возможность полного отделения железа (в виде скрапа и штейнов), содержание которого в отвальных шлаках колеблется в пределах 13 мас. % – 20 мас. %.

Другим видом отходов металлургического комбината являются золошлаковые отходы Западно-Сибирской ТЭЦ, являющейся структурным подразделением АО «Евраз ЗСМК». Эти отходы представляют собой смесь золы-уноса, улавливаемой мокрой и сухой газоочистками, и шлака. Соотношение между количественным выходом шлака и золы зависит от технологии и температурного режима сжигания угля. В последние годы доля шлака в смеси колеблется от 5% до 17% по массе, что в среднем составляет около 12 мас. %. Химический состав золы и шлака Западно-Сибирской ТЭЦ приведен в таблице 1.

По содержанию щелочноземельных оксидов зола и шлак являются низкокальциевыми, по количеству кремнезема и глинозема – кислыми. Содержание органической части в золе колеблется от 1% до 4%. В шлаке органическая часть отсутствует.

По гранулометрии зерен зола ТЭЦ относится к средней, монодисперсной, имея крупность частиц от 20 до 85 мкм. Шлак с Западно-Сибирской ТЭЦ поступает в виде гранул размером 30-40 мм. Удельная поверхность золы составляет в среднем 4300-4400 см^2/кг. Насыпная плотность золы варьирует в пределах 710-750 кг/м^3,

шлака – 1160-1180 кг/м³. Истинная плотность золы находится в интервале 2200-2300 кг/м³, шлака – 1990-2190 кг/м³. Плотность золошлаковой смеси (с 5% содержанием шлака) – 2100-2200 кг/м³, удельная поверхность – 2600-2800 см²/кг. Максимальная влагоемкость золы составляет 41,5-45,0%. Цвет частиц меняется от светлого (прозрачные) до черного с металлическим блеском. Изменяется также и однородность строения. Основной фазой золы является алюмосиликатное стекло в виде зерен неправильной шаровидной формы. Наиболее однородны полые шарики – микросферы. Доля таких шариков в золе Западно-Сибирской ТЭЦ составляет от 5% до 20%.

По литературным данным и результатам собственных исследований [15] – [17] на кафедре инженерных конструкций, строительных технологий и материалов университета разработана и предложена к проектированию схема комплексной переработки отходов теплоэнергетических объектов, входящих в металлургический комплекс Кузбасса (рисунок 2).

Учитывая особенность химического и минералогического составов отходов ТЭС, обусловленную их алюмосиликатной составляющей, золошлаковые отходы можно активно использовать в строительной индустрии, в дорожном строительстве, для отсыпки дорожных насыпей, при устройстве усиленных оснований, для укрепления грунта и др. [18] – [21].

Материалы, полученные из золошлаковых отходов (ЗШО, см. рисунок 2), имеют низкую теплопроводность, отличаются высокой плотностью, что позволяет на их основе получать огнеупорные и теплоизоляционные изделия [22], [23].

Широкое применение золошлаковые отходы нашли в качестве заполнителей для легких и ячеистых бетонов. Авторами проведены исследования вещественного состава и дана оценка золы от сжигания углеродсодержащих отходов в вихревых топках как техногенного сырья для ячеистых бетонов [24], [25]. При высоком модуле основности зола-уноса с успехом используется как активная добавка к клинкерным вяжущим (ПЦ, ППЦ, см. рисунок 2), а также в качестве основного компонента известково-кремнеземистого вяжущего (ИКВ, см. рисунок 2).

Проводятся интенсивные исследования по созданию геополимербетона с использованием золы-уноса и золошлаковых отходов. В процессе смешивания алюмосиликаты вступают в реакцию со щелочью и образуют твердый монолит с конгломератной структурой, аналогичной граниту [26].

Использование золы-уноса для производства стеновых керамических материалов было предложено еще в 80-е гг. прошлого столетия. Профессором Сайбулатовым С.Ж. была разработана и реализована технология керамического кирпича «Золокерам», состоящего на 70 мас. % из золы-уноса ТЭС [27]. В развитие этого направления были предложены принципы получения золокерамического кирпича наполненной каркасно-сотовой структуры [28]. Суть этой технологии заключается в гранулировании дисперсной золы, накатке на поверхность гранул тонкого слоя глины и полусухом прессовании изделий. После обжига образуется композит матричной структуры, представляющий собой материал с прочным каркасом, объединяющим гранулы-соты, заполненные дисперсным отходом (матричный композит, см. рисунок 2).

С учетом высокой пористости и адсорбционной способности золошлаковых отходов разработаны технологии получения на их основе зольных гранул, которые можно использовать в качестве сорбента для очистки сточных вод и очистки дымовых газов от CO_2 [29], [30].

Одним из наиболее перспективных направлений утилизации золошлаковых отходов с точки зрения крупнотоннажного использования является рекультивация нарушенных земель, например, на Томь-Усинской ГРЭС разработан технологический регламент ТР 00105638-2017 «Материал золошлаковый для рекультивации, получаемый в результате деятельности Томь-Усинской ГРЭС ПАО «Кузбассэнерго», введенный в действие в 2017 г.

Золошлаковый грунт также может применяться для ликвидации горных выработок [31]. Данная практика особенно актуальна для ТЭС, расположенных в относительной близости к разрабатываемым месторождениям. Помимо этого, существует потенциал использования ЗШО в качестве изолирующего слоя на мусорных полигонах в качестве техногенного грунта для пересыпки твердых коммунальных отходов.

Как уже отмечалось, перспективное развитие крупных промышленных регионов невозможно без рационального природопользования, в этой связи для экономии природных ресурсов, с одной стороны, и масштабной утилизации отходов крупных металлургических предприятий, с другой стороны, необходимы согласованные подходы по переработке всех видов накопленных и вновь образующихся техногенных отходов и побочных продуктов.

На рисунке 3 авторами предложена схема комплексной переработки шлаковых отходов металлургических комбинатов.

Прежде всего, по результатам исследований можно отметить, что высокое содержание щелочноземельных оксидов и гидравлически активных минералов в металлургических шлаках предполагает их эффективное использование в качестве сырьевых компонентов для неавтоклавных и автоклавных вяжущих, ячеистых бетонов и силикатных строительных материалов (ПЦ, ШПЦ, ИКВ, см. рисунок 3) [32] – [34].

Еще со второй половины XX в. достаточно апробирована технология получения быстроохлажденных или так называемых «гранулированных» шлаков, отличающихся высоким содержанием (75 мас. % – 90 мас. %) стеклофазы. Металлургические шлаки, имеющие стекловидную, стеклокристаллическую или кристаллическую структуры, нашли широкое применение в качестве заполнителей бетонов на минеральных и органических вяжущих, при этом последние часто используются как балластный слой при отсыпке железнодорожных и автомобильных дорог, устройстве оснований и т.п. [35] – [38].

Наличие легкоплавких соединений в шлаковых отходах металлургических предприятий позволяет использовать их в качестве базового сырьевого компонента строительных материалов со стеклокристаллической структурой (шлакоситаллы, пеношлакоситаллы), а также как сырье для получения различных видов изоляционных материалов [39], [40].

Перспективным направлением, прежде всего с энергозатратной точки зрения, является получение из металлургических шлаков высокопрочных литых изделий (предел прочности при сжатии 400-500 МПа, средняя плотность порядка 3000 кг/м³). При этом основной предпосылкой разрабатываемой технологии является использование отходов в расплавленном состоянии, начиная с отбора пиропластичной шлаковой массы на стадии ее образования, параллельно с протеканием металлургических процессов [41].

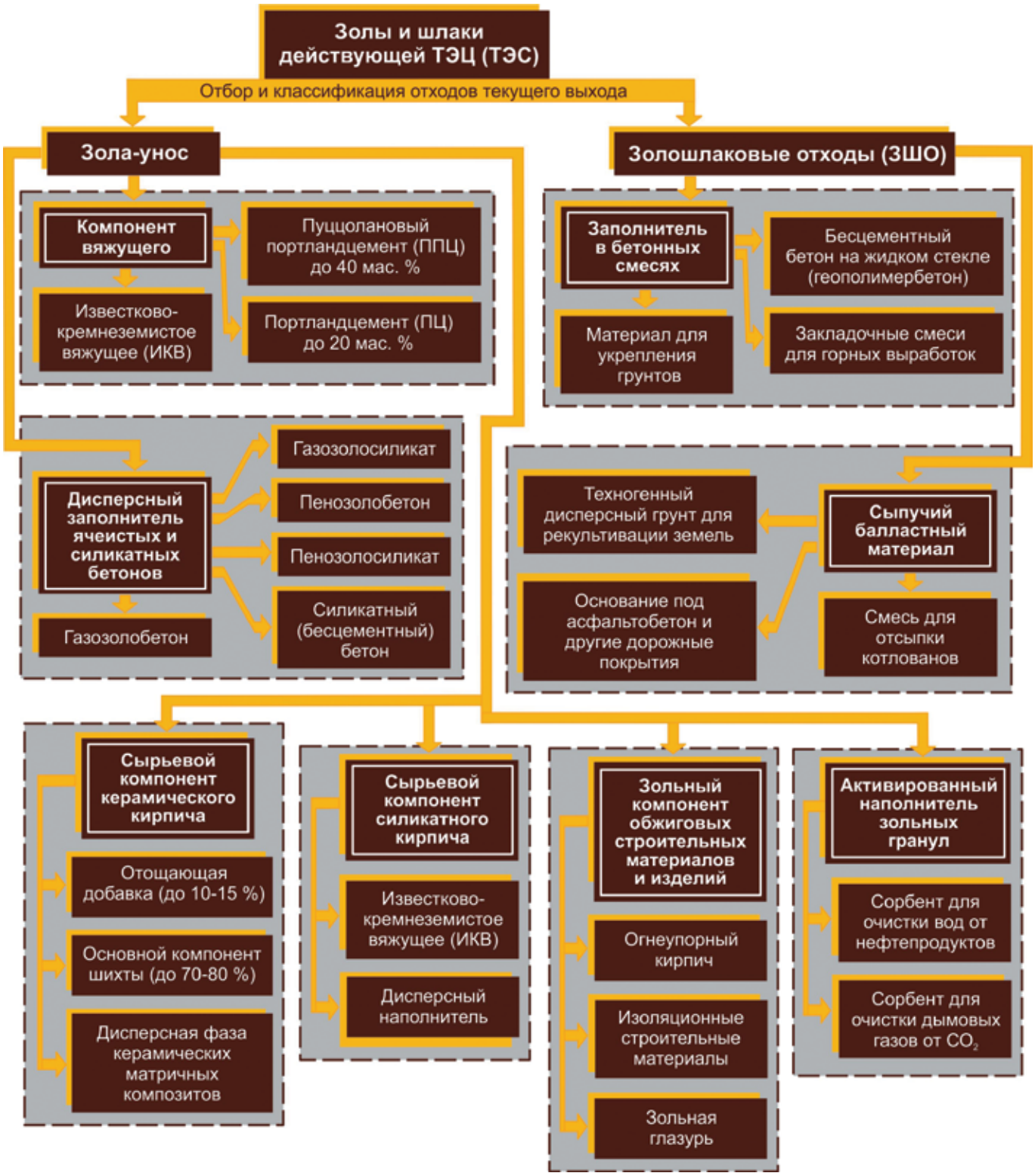

Рисунок 2 – Схема комплексной переработки отходов теплоэнергетических объектов металлургических предприятий

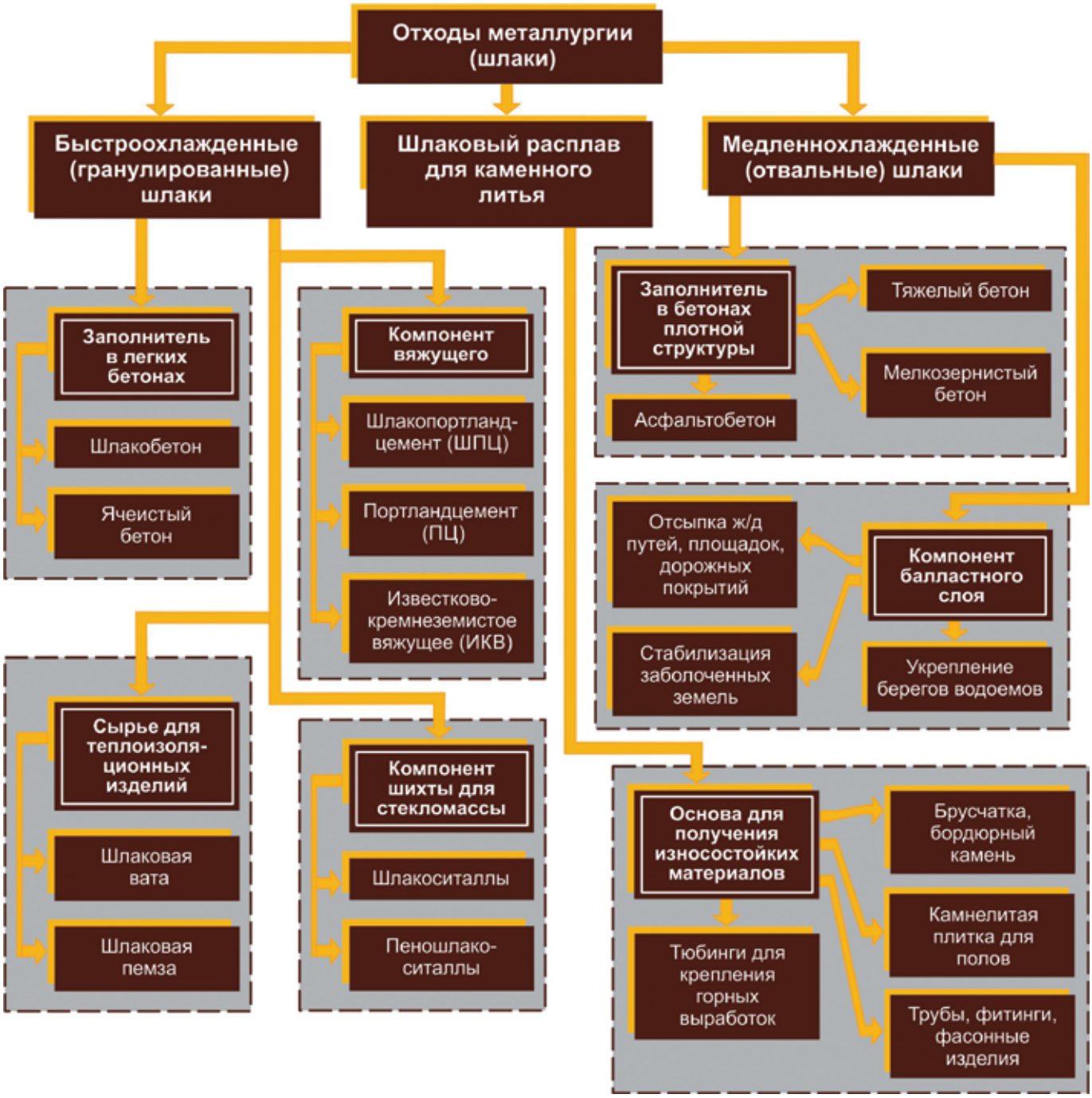

Рисунок 3 – Схема комплексной переработки шлаковых отходов металлургических предприятий

Заключение

По результатам проведенного анализа литературных данных и собственных исследований авторов комплексная переработка отходов теплоэнергетических объектов металлургических предприятий условно сгруппирована по следующим основным направлениям в зависимости от разновидности золошлаковых отходов текущего выхода (рисунок 2):

1) *зола-унос в качестве компонента вяжущего* для получения клинкерных цементов и силикатных вяжущих автоклавного твердения;

2) *зола-унос как дисперсный заполнитель* ячеистых и силикатных бесцементных бетонов;

3) *зола-унос как сырьевой компонент* для производства керамических и силикатных стеновых материалов;

4) *зола-унос в качестве зольного компонента* обжиговых строительных материалов и изделий *и дисперсного наполнителя зольных гранул*;

5) *золошлаковые отходы как заполнитель* геополимербетонов и закладочных смесей;

6) *золошлаковые отходы в качестве балластного слоя* при рекультивации земель, отсыпки котлованов и устройстве

оснований дорожных покрытий.

На приведенной схеме комплексной переработки металлургических шлаков (рисунок 3) выделены три основных направления по переработке алюмосиликатных отходов металлургии: использование шлаковых расплавов для каменного литья, быстрое (жидкостное) или медленное (естественное) охлаждение шлаков для получения различных строительных материалов и изделий.

Реализация предложенных направлений по комплексной переработке минеральных отходов металлургических предприятий позволит организовать безотходное производство крупнотоннажной продукции основного цикла, дополнительно производить товары для нужд строительной сферы и внести определенный вклад в улучшение экологической обстановки промышленных регионов.

Библиография

1. Сниккарс П.Н., Золотова И.Ю., Осокин Н.А. Утилизация золошлаков ТЭС как новая кроссотраслевая задача. // Энергетическая политика. 2020. № 7. С. 34-45.

2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году: гос. докл. – М.: Министерство природных ресурсов и экологии. 2010.

3. Петров И.В., Савон Д.Ю. Эколого-экономический подход в сфере обращения с отходами производства в регионе./Экология. Природопользование. Экономика: материалы международной конференции МГГУ. – М.: ООО «Роликс». 2013. С. 43-56.

4. Ляшенко, В. И., Дятчин В.З. Охрана окружающей среды в регионах добычи и переработки руд. // Экология производства. 2013. № 3. С. 56-59.

5. Рахимов, Р. З., Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья. // Строительные материалы. 2009. № 12. С. 8-11.

6. Аксенов Е.М., Садыков Р.К. О нерешенных проблемах масштабного использования техногенных месторождений для производства строительных материалов./Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции. – Казань: КазГАСУ. 2010. Т. 2. С. 98-100.

7. Волынкина Е.П. Развитие концепции управления отходами в металлургии. // Экобюллетень ИНЭКА. 2007. № 4 (123). С. 45-50.

8. Кривцов А.И., Беневольский Б.И., Минаков В.М., Морозов И.В. Термины и понятия отечественного недропользования (словарь-справочник)./Под ред. Б.А. Яцкевича. – М.: ЗАО «Геоинформмарк». 2000. 344 с.

9. Муниципальный сайт города Новокузнецк. Раздел 17. Экологическая обстановка в г. Новокузнецк./URL: http://admnkz.ru/actionDocument.do?id=51922 (дата обращения 16.05.2022).

10. Мамаев К.А., Митрофанов А.М. Основы агрохимии и применение ядохимикатов./3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. Школа. 1975. 168 с.

11. Евтушенко Е.И. Комплексная переработка металлосодержащих отходов. – Белгород: БелГТАСМ. 1996. 60 с.

12. Хоботова Э.Б., Калмыкова Ю.С. Эколого-химическое обоснование утилизации отвальных доменных шлаков в производстве вяжущих материалов. // Экологическая химия. 2012. № 21 (1). С. 27-37.

13. Шаповалов Н.А., Загороднюк Л.Х., Тикунова И.В., Шекина А.Ю. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков. // Фундаментальные исследования. Технические науки. 2013. № 1. С. 439-443.

14. Цымбал В.П., Мочалов С.П., Павленко С.И. и др. Комплекс экологически безопасных синергетических технологий переработки отходов металлургии./Материалы 6-й международной конференции «Сотрудничество» 29.30.2000. – М.: Издательство Национально-культурной автономии российских корейцев. 2000. С. 161-176.

15. Зоря В.Н., Извеков В.Н., Столбоушкин А.Ю., Федорчук Ю.М. Развитие методологии экологического аудита шламов гидроотвала ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» и его специфика. // Охрана окружающей среды и природопользование. 2010. № 4. С. 62-65.

16. Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И. Ресурсосберегающая комплексная переработка минерального техногенного сырья в производстве строительных материалов. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2011. № 1. С. 46-53.

17. Столбоушкин А.Ю. Получение силикатных материалов с добавкой тонкомолотого мартеновского шлака. // Строительные материалы. 2019. № 8. С. 26-33.

18. Грицук А.И., Туманова С.А., Чаргазия Т.З., Бородай Д.И., Стукалов А.А. Эффективность использования золошлаков в дорожном строительстве. // Экономика строительства и городского хозяйства. 2017. Т. 13. № 1. С. 81-91.

19. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. – М.: СОЮЗДОРНИИ. 2003. 59 с.

20. Балабанов В.Б., Николаенко В.Л. Применение зольных отходов в дорожном строительстве. // Вестник ИрГТУ. 2011. № 6 (53). С. 37-41.

21. Малыхин Р.Н. Применение золошлаковых отходов в дорожном строительстве Кузбасса. // Молодой ученый. 2019. № 15 (253). С. 41-44.

22. Красный Б.Л., Иконников К.И., Лемешев Д.О., Сизова А.С. Летучая зола как техногенное сырье для получения огнеупорных и изоляционных керамических материалов (обзор). // Стекло и керамика. 2021. № 2.

23. Игнатьев Г.В., Шушков Д.А. Керамика на основе золы уноса воркутинских ТЭЦ./IX Всероссийская молодежная научная конференция «Минералы: строение, свойства, методы исследования». 2018.

24. Столбоушкин А.Ю., Карпачева А.А., Темлянцев М.В., Иванов А.И. Оценка золы от сжигания углеродсодержащих отходов в вихревых топках как техногенного сырья для ячеистых бетонов. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 5. С. 85-90.

25. Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Бердов Г.И., Сыромясов В.А., Дружинин М.С. Влияние вещественного состава заполнителя из отходов сжигания топлива на формирование ячеистой структуры газозолобетона. // Строительные материалы. 2014. № 12. С. 42-45.

26. Дудников А.Г., Дудникова М.С., Алекс Реджани. Геополимерный бетон и его применение. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2018. № 1-2. С. 38-45.

27. Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Радко А.В. Золокерамические стеновые материалы. – Алма-Ата: Наука. 1982. 292 с.

28. Макарова Е.С., Федоркин С.И. Технология производства золокерамических материалов наполненной каркасно-сотовой структуры./Строительство и техногенная безопасность: сб. науч. тр. КАПКС. – Симферополь: 2004. Вып. 9. С. 76-77.

29. Фоменко А.И. Сорбент на основе золь-

ных микросфер для очистки технологических и сточных вод./Перспективные научные исследования и инновационно-технологические разработки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 27 августа 2020 г./Под общ. ред. Е.П. Ткачевой. – Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ). 2020. С. 41-44.

30. Чефарин Д.О., Шулепов А.С., Полтавец А.В., Богомолов А.Р. Исследование процесса улавливания СО2 золой уноса ТЭС в потоке с газовоздушной средой./XIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая». 20-23 апреля 2021 г.

31. Шеховцова В.О., Мурко В.И. Обоснование технологии экологически безопасной подземной разработки слепых сближенных рудных залежей с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью на основе золошлакоотходов. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 4. С. 68-72.

32. Завадский В.Ф., Камбалина И.В. Шлакогазобетон на композиционном шлаковом вяжущем. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. № 2. С. 31-34.

33. Завадский В.Ф., Камбалина И.В. Оптимизация параметров получения газобетона с применением шлакового вяжущего и шлакового заполнителя. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 8. С. 19-23.

34. Столбоушкин А.Ю. Получение силикатных материалов с добавкой тонкомолотого мартеновского шлака. // Строительные материалы. 2019. № 8. С. 26-33.

35. Романенко И.И., Романенко М.И., Петровнина И.Н. Новые материалы в дорожном строительстве. // Молодой ученый. 2015. № 7 (87). С. 198-200.

36. Пименов А.Т., Прибылов В.С. Применение шлаковых заполнителей в составе асфальтобетона для повышения долговечности дорожных покрытий. // Вестник СибАДИ. 2019. № 16 (6). С. 766-779.

37. Чудинов С.А., Ращектаев В.А. Исследование свойств щебеночно-песчаных смесей металлургических шлаков для устройства монолитных оснований дорожных одежд. // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4.

38. Ефремов А.Н., Лищенко А.Н., Конев О.Б. Заполнители для бетонов из сталеплавильных шлаков. // Современное промышленное и гражданское строительство. 2017. Т. 13. № 4. С. 209-215.

39. Беляченков И.О. Шлакоситаллы: история и перспективы. // Студенческий вестник. 2018. № 28-2 (48). С. 6-8.

40. Русских В.П., Кравченко В.П. Производство шлаковой ваты из доменных шлаков. // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2016. № 32. С. 20-25.

41. Игнатова А.М. Синтетические минеральные сплавы, полученные каменным литьем – материалы настоящего и будущего. // Базальтовые технологии. 2012. № 1. С. 46-49.

eng

Stolboushkin A. Y., Spiridonova I. V.

PROPOSALS FOR INTEGRATED PROCESSING OF MINERAL WASTE FROM METALLURGICAL ENTERPRISES

In this work, the need for the rational use of natural resources at the present stage was shown through the use of large-tonnage industrial waste as a raw material for the production of building materials. The problems of effective disposal of waste from metallurgical enterprises in the construction industry were identified, primarily related to the variability of their chemical, granulometric and mineralogical compositions. Using the example of an industrial region, a scheme has been developed for the integrated processing of waste from heat and power facilities of metallurgical enterprises. Depending on the type of ash and slag waste, it has been grouped the main directions for their use in various areas of production and economic activity. It has been presented a scheme for the complex processing of metallurgical slags. Three main directions for the processing of aluminosilicate wastes of metallurgy have been identified: the use of slag melts for stone casting, fast (liquid) or slow (natural) cooling of slags to obtain various building materials and products.

Keywords: complex processing of mineral waste, technogenic raw materials for the production of building materials, fly ash, metallurgical slags

References

1. Snikkars P.N., Zolotova I. YU., Osokin N.A. Utilizaciya zoloshlakov TES kak novaya krossotraslevaya zadacha. // Energeticheskaya politika. 2020. № 7. Pp. 34-45. (in Russian)

2. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2009 godu: gos. dokl. – M.: Ministerstvo prirodnyh resursov i ekologii. 2010. (in Russian)

3. Petrov I.V., Savon D. YU. Ekologo-ekonomicheskij podhod v sfere obrashcheniya s othodami proizvodstva v regione./Ekologiya. Prirodopol»zovanie. Ekonomika: materialy mezhdunarodnoj konferencii MGGU. – M.: OOO «Roliks». 2013. Pp. 43-56. (in Russian)

4. Lyashenko, V. I., Dyatchin V.Z. Ohrana okruzhayushchej sredy v regionah dobychi i pererabotki rud. // Ekologiya proizvodstva. 2013. № 3. Pp. 56-59. (in Russian)

5. Rahimov, R. Z., Magdeev U.H., YArmakovskij V.N. Ekologiya, nauchnye dostizheniya i innovacii v proizvodstve stroitel»nyh materialov na osnove i s primeneniem tekhnogennogo syr»ya. // Stroitel»nye materialy. 2009. № 12. Pp. 8-11. (in Russian)

6. Aksenov E.M., Sadykov R.K. O nereshennyh problemah masshtabnogo ispol»zovaniya tekhnogennyh mestorozhdenij dlya proizvodstva stroitel»nyh materialov./Dostizheniya i problemy materialovedeniya i modernizacii stroitel»noj industrii: Materialy XV Akademicheskih chtenij RAASN – Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. – Kazan»: KazGASU. 2010. T. 2. Pp. 98-100. (in Russian)

7. Volynkina E.P. Razvitie koncepcii upravleniya othodami v metallurgii. // Ekobyulleten» INEKA. 2007. № 4 (123). Pp. 45-50. (in Russian)

8. Krivcov A.I., Benevol»skij B. I., Minakov V.M., Morozov I.V. Terminy i ponyatiya otechestvennogo nedropol»zovaniya (slovar» – spravochnik)./Pod red. B.A. YAckevicha. – M.: ZAO «Geoinformmark». 2000. 344 p. (in Russian)

9. Municipal»nyj sajt goroda Novokuzneck. Razdel 17. Ekologicheskaya obstanovka v g.

Novokuzneck./URL: http://admnkz.ru/actionDocument. do?id=51922 (data obrashcheniya 16.05.2022). (in Russian)

10. Mamaev K. A., Mitrofanov A. M. Osnovy agrohimii i primenenie yadohimikatov./3-e izd., ispr. i dop. – M.: Vyssh. SHkola. 1975. 168 p. (in Russian)

11. Evtushenko E. I. Kompleksnaya pererabotka metallosoderzhashchih othodov. – Belgorod: BelGTASM. 1996. 60 p. (in Russian)

12. Hobotova E. B., Kalmykova YU. S. Ekologo-himicheskoe obosnovanie utilizacii otval»nyh domennyh shlakov v proizvodstve vyazhushchih materialov. // Ekologicheskaya himiya. 2012. № 21 (1). Pp. 27-37. (in Russian)

13. SHapovalov N. A., Zagorodnyuk L. H., Tikunova I. V., SHekina A. YU. Racional»nye puti ispol»zovaniya staleplavil»nyh shlakov. // Fundamental»nye issledovaniya. Tekhnicheskie nauki. 2013. № 1. Pp. 439-443. (in Russian)

14. Cymbal V. P., Mochalov S. P., Pavlenko S. I. i dr. Kompleks ekologicheski bezopasnyh sinergeticheskih tekhnologij pererabotki othodov metallurgii./Materialy 6-j mezhdunarodnoj konferencii «Sotrudnichestvo» 29.30.2000. – M.: Izdatel»stvo Nacional»no-kul»turnoj avtonomii rossijskih korejcev. 2000. Pp. 161-176. (in Russian)

15. Zorya V. N., Izvekov V. N., Stolboushkin A. YU., Fedorchuk YU. M. Razvitie metodologii ekologicheskogo audita shlamov gidrootvala OAO «Zapadno-Sibirskij metallurgicheskij kombinat» i ego specifika. // Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol»zovanie. 2010. № 4. Pp. 62-65. (in Russian)

16. Stolboushkin A. YU., Berdov G. I. Resursosberegayushchaya kompleksnaya pererabotka mineral»nogo tekhnogennogo syr»ya v proizvodstve stroitel»nyh materialov. // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel»stvo. 2011. № 1. Pp. 46-53. (in Russian)

17. Stolboushkin A. YU. Poluchenie silikatnyh materialov s dobavkoj tonkomolotogo martenovskogo shlaka. // Stroitel»nye materialy. 2019. № 8. Pp. 26-33. (in Russian)

18. Gricuk A. I., Tumanova S. A., CHargaziya T. Z., Borodaj D. I., Stukalov A. A. Effektivnost» ispol»zovaniya zoloshlakov v dorozhnom stroitel»stve. // Ekonomika stroitel»stva i gorodskogo hozyajstva. 2017. T. 13. № 1. Pp. 81-91. (in Russian)

19. Putilin E. I., Cvetkov V. S. Primenenie zol unosa i zoloshlakovyh smesej pri stroitel»stve avtomobil»nyh dorog. Obzornaya informaciya otechestvennogo i zarubezhnogo opyta primeneniya othodov ot szhiganiya tverdogo topliva na TES. – M.: SOYUZDORNII. 2003. 59 p. (in Russian)

20. Balabanov V. B., Nikolaenko V. L. Primenenie zol»nyh othodov v dorozhnom stroitel»stve. // Vestnik IrGTU. 2011. № 6 (53). Pp. 37-41. (in Russian)

21. Malyhin R. N. Primenenie zoloshlakovyh othodov v dorozhnom stroitel»stve Kuzbassa. // Molodoj uchenyj. 2019. № 15 (253). Pp. 41-44. (in Russian)

22. Krasnyj B. L., Ikonnikov K. I., Lemeshev D. O., Sizova A. S. Letuchaya zola kak tekhnogennoe syr»e dlya polucheniya ogneupornyh i izolyacionnyh keramicheskih materialov (obzor). // Steklo i keramika. 2021. № 2. (in Russian)

23. Ignat»ev G. V., SHushkov D. A. Keramika na osnove zoly unosa vorkutinskih TEC./IX Vserossijskaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya «Mineraly: stroenie, svojstva, metody issledovaniya». 2018. (in Russian)

24. Stolboushkin A. YU., Karpacheva A. A., Temlyancev M. V., Ivanov A. I. Ocenka zoly ot szhiganiya uglerodsoderzhashchih othodov v vihrevyh topkah kak tekhnogennogo syr»ya dlya yacheistyh betonov. // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. № 5. Pp. 85-90. (in Russian)

25. Stolboushkin A. YU., Ivanov A. I., Berdov G. I., Syromyasov V. A., Druzhinin M. S. Vliyanie veshchestvennogo sostava zapolnitelya iz othodov szhiganiya topliva na formirovanie yacheistoj struktury gazozolobetona. // Stroitel»nye materialy. 2014. № 12. Pp. 42-45. (in Russian)

26. Dudnikov A. G., Dudnikova M. S., Aleks Redzhani. Geopolimernyj beton i ego primenenie. // Stroitel»nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2018. № 1-2. Pp. 38-45. (in Russian)

27. Sajbulatov S. ZH., Sulejmenov S. T., Radko A. V. Zolokeramicheskie stenovye materialy. – Alma-Ata: Nauka. 1982. 292 p. (in Russian)

28. Makarova E. S., Fedorkin S. I. Tekhnologiya proizvodstva zolokeramicheskih materialov napolnennoj karkasno-sotovoj struktury./Stroitel»stvo i tekhnogennaya bezopasnost»: sb. nauch. tr. KAPKS. – Simferopol»: 2004. Vyp. 9. Pp. 76-77. (in Russian)

29. Fomenko A. I. Sorbent na osnove zol»nyh mikrosfer dlya ochistki tekhnologicheskih i stochnyh vod./Perspektivnye nauchnye issledovaniya i innovacionno-tekhnologicheskie razrabotki: sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 27 avgusta 2020 g./Pod obshch. red. E. P. Tkachevoj. – Belgorod: OOO Agentstvo perspektivnyh nauchnyh issledovanij (APNI). 2020. Pp. 41-44. (in Russian)

30. CHefarin D. O., SHulepov A. S., Poltavec A. V., Bogomolov A. R. Issledovanie processa ulavlivaniya SO2 zoloj unosa TES v potoke s gazovozdushnoj sredoj./XIII Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenyh «Rossiya molodaya». 20-23 aprelya 2021 g. (in Russian)

31. SHekhovcova V. O., Murko V. I. Obosnovanie tekhnologii ekologicheski bezopasnoj podzemnoj razrabotki slepyh sblizhennyh rudnyh zalezhej s zakladkoj vyrabotannogo prostranstva tverdeyushchej smes»yu na osnove zoloshlakoothodov. // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten». 2014. № 4. Pp. 68-72. (in Russian)

32. Zavadskij V. F., Kambalina I. V. SHlakogazobeton na kompozicionnom shlakovom vyazhushchem. // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel»stvo. 2006. № 2. Pp. 31-34. (in Russian)

33. Zavadskij V. F., Kambalina I. V. Optimizaciya parametrov polucheniya gazobetona s primeneniem shlakovogo vyazhushchego i shlakovogo zapolnitelya. // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel»stvo. 2007. № 8. Pp. 19-23. (in Russian)

34. Stolboushkin A. YU. Poluchenie silikatnyh materialov s dobavkoj tonkomolotogo martenovskogo shlaka. // Stroitel»nye materialy. 2019. № 8. Pp. 26-33. (in Russian)

35. Romanenko I. I., Romanenko M. I., Petrovnina I. N. Novye materialy v dorozhnom stroitel»stve. // Molodoj uchenyj. 2015. № 7 (87). Pp. 198-200. (in Russian)

36. Pimenov A. T., Pribylov V. S. Primenenie shlakovyh zapolnitelej v sostave asfal»tobetona dlya povysheniya dolgovechnosti dorozhnyh pokrytij. // Vestnik SibADI. 2019. № 16 (6). Pp. 766-779. (in Russian)

37. CHudinov S. A., Rashchektaev V. A. Issledovanie svojstv shchebenochno-peschanyh smesej metallurgicheskih shlakov dlya ustrojstva monolitnyh osnovanij dorozhnyh odezhd. // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 4. (in Russian)

38. Efremov A. N., Lishchenko A. N., Konev O. B. Zapolniteli dlya betonov iz staleplavil»nyh shlakov. // Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel»stvo. 2017. T. 13. № 4. Pp. 209-215. (in Russian)

39. Belyachenkov I. O. SHlakositally: istoriya i perspektivy. // Studencheskij vestnik. 2018. № 28-2 (48). Pp. 6-8. (in Russian)

40. Russkih V. P., Kravchenko V. P. Proizvodstvo shlakovoj vaty iz domennyh shlakov. // Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2016. № 32. Pp. 20-25. (in Russian)

41. Ignatova A. M. Sinteticheskie mineral»nye splavy, poluchennye kamennym lit»em – materialy nastoyashchego i budushchego. // Bazal»tovye tekhnologii. 2012. № 1. Pp. 46-49. (in Russian)