

УДК 693.9:699.841

**ОБ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ
КРУПНОТОННАЖНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ
В НИЗКОЭНЕРГОЕМКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**ABOUT INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF PROCESSING
OF LARGE TONNAGE BY-PRODUCTS IN LOW ENERGY CONSUMPTION
AND COST-EFFECTIVE BUILDING MATERIALS**

В.Н. ЯРМАКОВСКИЙ
V.N. YARMAKOVSKY

(Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук)
(Research Institute of Construction Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences)
E-mail: yarmakovsky@yandex.ru

Творческим коллективом специалистов НИИСФ, РААСН и научно-производственных организаций крупных промышленных центров страны раз-

работаны инновационные технологии переработки крупнотоннажных техногенных отходов различных отраслей промышленности в низкоэнергоемкие, экономически эффективные и экологически чистые строительные материалы – базовые компоненты легких (преимущественно), мелкозернистых и тяжелых бетонов. Приведены примеры таких технологий. Разработаны и представлены в статье соответствующие нормативно-технические документы, необходимые для реализации в индустриальных центрах инновационных технологий с целью одновременного решения вопросов модернизации стройиндустрии в направлениях ресурсоэнергосбережения и защиты окружающей среды.

The creative team of NISF, RAACS and scientific-production organizations specialists of large industrial centers of the country developed innovative technologies for processing of large-tonnage by-products of various industries in low power consumption and cost-effective building materials –basic components of lightweight (mostly), fine-grain and heavy (normal) concretes. Examples of such technologies are presented. Developed and presented in the article relevant normative-technical documents necessary for the implementation of such technologies to industrial centers with the purpose of the simultaneous solution of modernization of the construction industry in the direction of resource-energy-saving and the environmental protection issues.

Ключевые слова: инновационные технологии, техногенные отходы, ресурсоэнергосбережение, легкие, мелкозернистые и тяжелые бетоны, строительные материалы.

Keywords: innovative technologies, by-products, resource-energy-saving, lightweight, fine-grain and heavy concretes, construction materials.

Выполнены научное обобщение и анализ отечественных и зарубежных данных в области создания и эксплуатации современных технологических линий по комплексной и безотходной переработке крупнотоннажных техногенных отходов (КТО) в низкоэнергоемкие, экологически чистые, экономически эффективные и при этом высококачественные строительные материалы. По результатам этих исследований впервые разработана научная концепция и новые структурно-технологические принципы утилизации КТО для применения их при производстве альтернативных традиционным строительным материалам [1], [2].

Впервые выполнены исследования и создан кадастр КТО различных отраслей промышленности: черной и цветной металлургии, топливной энергетики горнодобывающей и химической промышленности, промышленности минеральных удобрений, деревообрабатывающей промышленности и

др. Определены основные физико-химические, физико-механические и технико-экономические характеристики КТО, необходимые для оценки возможности и целесообразности переработки их в экологически чистые и экономически эффективные строительные материалы [2].

Впервые разработана вместе с кадастром техническая классификация КТО (табл. 1) с перечнем основных продуктов их переработки и характеристик этих продуктов для применения в стройиндустрии и, в частности, что наиболее эффективно, – в альтернативных традиционным новым модификациях легких бетонов с достаточно высокими показателями эксплуатационного качества [3...8].

Следует заметить, что содержание "Кадастра" и "Технической классификации КТО" корреспондируется с содержанием соответствующих разделов третьей редакции Руководства по конструкционным лег-

ким бетонам Международной федерации по бетону и железобетону (fib) [3], а также с содержанием Руководства Канадской ассоциации минеральных ресурсов и ассоциацией "Цементы Канады".

Впервые создан каталог (табл. 1 – кадастр и техническая классификация техногенных образований текущего выхода с перечнем основных продуктов их переработки для применения в стройиндустрии при производстве легких бетонов, изделий и конструкций из них. Каталог пилотных

проектов) пилотных проектов низкоэнергоемких, в большинстве безотходных и экологически чистых технологий комплексной и глубокой переработки КТО в экологически чистые, экономичные и при том достаточно высококачественные строительные материалы (малоклинкерные и бесклинкерные вяжущие [3...6], крупные и мелкие заполнители, химико-минеральные добавки – модификаторы структуры бетона различных видов и назначения [3], [7], [8]).

Т а б л и ц а 1

Отрасль промышленности	Вид техногенных образований	Продукты переработки в стройматериалы				Предприятия, внедрившие пилотные технологические линии (каталог)	
		Вяжущие и их компоненты			Заполнители		
					Крупный пористый		Мелкий пористый и плотный
I. Черная металлургия	Доменные шлаки текущего выхода	С использованием гранулированного шлака			Пористый шлаковый гравий с остеклованной оболочкой (крупный шлакостеклогранулят (ШСГ)) фр. 5-10 и 10-20 мм марок по прочности П100-П200 – для КТЛБ*, П300-П500 – для КЛБ*	Пористый шлаковый песок – мелкий (фр. 0-5) ШСГ – отсев фр. 5-10 и 10-20 мм ШСГ $M_{кр}=2,5-3,0$ как мелкий заполнитель для КТЛБ	Новолипецкий металлургический комбинат. Цех шлакопереработки
	Ферросплавные шлаки текущего выхода: - силикомарганца - ферромарганца	–	–	–	Пористый щебень фр. 5-10 и 10-20 мм марок по прочности П75-П150 для КТЛБ	Граншлак и отсев пористого щебня, фр. 0-5 мм для мелкозернистых КТЛБ	1. Косогорский металлургический комбинат (Тульская обл.) Гидроэкранный установка 2. Завод ЖБИ-10 Главмосстроя
II. Цветная металлургия	Гранулированные магнетитно-железистые шлаки медно-никелевого производства	Шлакопортландцемент марки 300-400 на основе измельченного граншлака и портландцем. клинкера	–	–	–	Плотный заполнитель фр. 0-5 мм, $M_{кр}=2,8-3,3$ для мелкозернистого бетона, в т.ч. умеренно поризованного КЛБ, и для тяжелого бетона	Комбинат "Печенганикель" (г. Апатиты, Мурманская обл.) Опытно-промышленная технологическая линия

Ш. Топливная энергетика	Зола уноса и шлаки текущего выхода угольных ТЭС и ГРЭС	Шлако-портланд-цемент с использованием молотого шлака ТЭС жидкого удаления	Композиционное ма-локлинкерное вяжущее (КМВ) с использованием тонкомолотого шлака ТЭС (1-й вариант) и золы уноса (преимущественно основной – 2-й вариант)	Активные минеральные добавки в портланд-цемент: а) при использовании основных зол уноса; б) при использовании тонкомолотого шлака жидкого удаления	Высокопрочный безобжиговый зольный гравий фр. 5-10 и 10-20 мм марок по прочности ПЗ00-П400 для КЛБ	Молотый шлак фр. 0-5 мм в качестве мелкого заполнителя или его части в сочетании с кварцевым песком для КЛБ	Технологическая линия по производству КМВ с использованием шлака жидкого удаления Ангарской ТЭЦ-6 (опытно-промышленная)
-------------------------	--	--	---	--	--	---	---

Примечание. КЛБ – конструкционный легкий бетон; КТЛБ – конструкционно-теплоизоляционный легкий бетон.

Примеры таких действующих проектов и соответствующих технологий приведены на рис. 1...3.



Рис. 1

На рис. 1 представлена технологическая линия по производству пористого шлакового гравия с остеклованной оболочкой (производительность – 200 тыс. м³/год) на Новолипецком металлургическом комбинате (действует с 2000 г.)*. Слева – технологический комплекс, состоящий из принимающего из доменной печи шлаковый расплав виброжелоба, лотка с водяными форсунками для поризации шлакового расплава, лопастного барабана для выброса в воздух поризованных частиц шлакового расплава и дальнейшего образования остеклованной шлаковой оболочки вокруг этих частиц под воздействием сил поверхностного натяжения. На переднем плане – пневмокласификатор поризованных шлаковых частиц (шлакостеклогранулят – ШСГ), с помощью которого частицы ШСГ разделяются на класс А – легкие – для конструкционно-теплоизоляционного бетона и на класс Б – относительно тяжелые – для конструкционного (в том числе высокопрочного) бетона.

На рис. 2 представлена схема очистки сернистых газов, выделяемых при водовоздушной переработке огненно-жидких шлаковых расплавов в пористый шлаковый гравий с остеклованной оболочкой (рис. 1), и получения в результате сырьевой смеси для композиционного сульфатно-шлакового вяжущего (1 – локализирующий зонд; 2 – реактор; 3 – фильтр; 4 – пневмоподача известково-шлаковых продуктов газоочистки на установку по производству сульфатно-шлакового вяжущего; 5 – бункер; 6 – вибропоризатор; 7 – загрузочный люк; 8 – тарелки с зернистым шлаковым фильтром).

* Патент РФ № 2087438 Классы патента: С04В5/02, В01J2/00 Авторы: Франценюк И.В., Панченко В.Ф., Ярмаковский В.Н., Школьник Я.Ш.

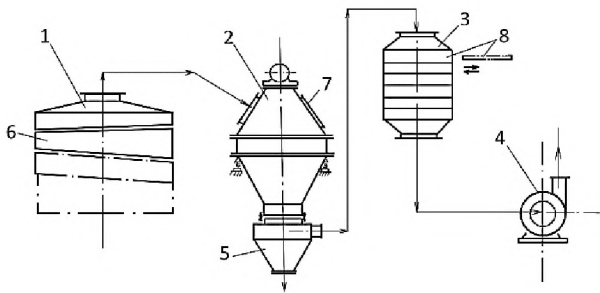


Рис. 2

Сернистый газ, образующийся при поризации шлакового расплава в узле установки с водяными форсунками, направляется вместе с частью поризованного шлакового гравия – шлакостеклогранулята по трубопроводу в локализирующий зонд (1), снабженный вибропоризатором (6). Далее смесь попадает в реактор (2) с несколькими ситами, на которых осаждаются пористый шлаковый гравий. Сверху на сита подается известковый раствор, который оболочивает зерна гравия, затвердевает и опускается в приемный бункер (5). Далее шлаковый гравий с оболочкой из затвердевшего шлакового расплава попадает в фильтр с

виброситами, откуда с помощью пневмонасоса (4) осуществляется подача сульфатно-шлакового вяжущего в элеватор и оттуда на строительную площадку в объеме, требуемом для смеси со шлаковым гравием и формирования стеновых блоков из бетона на шлаковом гравии при использовании произведенного в результате газоочистки сернистых газов сульфатно-шлакового вяжущего.

Таким образом, рассматриваемую технологию переработки доменных и ферросплавных шлаков текущего выхода в компоненты легких бетонов (пористый шлаковый гравий и композиционное шлаковое вяжущее) можно назвать безотходной. На базе использования технологии был получен не только самый эффективный для легких бетонов пористый шлаковый наполнитель, но и теплотехнически эффективное и экономичное сульфатно-шлаковое вяжущее. Был построен и введен в эксплуатацию рядом с установкой завод по производству стеновых блоков на той же производственной площадке, что и установка по изготовлению шлакового гравия.



Рис. 3

На рис. 3 представлена мобильная модульная установка для переработки тонких минеральных отходов в пористые наполнители легких бетонов. Первое внедрение

– для производства безобжигового зольного гравия на Автозаводской ТЭЦ – одном из ключевых энергетических предприятий Нижнего Новгорода, (2013). Мо-

бильный мини-завод смонтирован в четырех контейнерах, которые могут оперативно перемещаться автотранспортом к месту нахождения отходов, в частности, к силосам для хранения золы уноса, заполняемым ею с помощью циклонов тепловых электростанций.

Рядом с контейнерами монтируются сырьевые силосы (для отходов, в частности, золы-уноса в сухом состоянии, минеральных добавок и цементных вяжущих). Контейнеры подключаются к источникам воды и электрического тока. В контейнерах размещены устройства, в которых производится смешивание сухих сырьевых компонентов (цементного вяжущего, золы-уноса, минеральных добавок в определенной пропорции). Смешивание компонентов в определенной стадии происходит с подачей воды, и в другом контейнере происходит грануляция смеси (с помощью тарельчатых грануляторов) для образования безобжигового зольного гравия – эффективного заполнителя для конструкционных (в том числе высокопрочных легких бетонов).

Разработаны рекомендации по использованию каталогизированных пилотных проектов технологий переработки КТО в привязке к строительным комплексам крупных индустриальных регионов страны.

Комплекс вышеназванных нормативно-технических документов создан по результатам исследований и опыта эксплуатации технологических линий переработки КТО, разработанных НИИСФ при авторском участии специалистов РААСН в соответствии с направлением № 9 Программы фундаментальных научных исследований (ФНИ) государственных академий наук на 2013-2020 гг., и, в частности, программы ФНИ Отделения строительных наук РААСН "Выявление тенденций развития и прогнозные исследования". НИР выполнялись в соответствии с разделом № 9.1 этого направления Программы – "Прогнозные исследования по решению проблемы полной переработки техногенных отходов промышленных предприятий в строительные материалы".

Результаты данной НИР позволяют эффективно использовать КТО из выше-

названных их "Кадастра" и "Технической классификации" КТО и продуктов их переработки по разработанным пилотным технологиям на предприятиях стройиндустрии, действующих в крупных индустриальных центрах страны. Тем самым обеспечивается снижение себестоимости и энергоемкости производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций. В итоге значительно снижается стоимость и энергоемкость строительства в целом.

ВЫВОДЫ

1. Разработан комплекс инновационных технологий переработки крупнотоннажных техногенных отходов (КТО) различных отраслей промышленности в низкоэнергоемкие, экономически эффективные и экологически чистые строительные материалы – базовые компоненты легких, мелкозернистых и тяжелых бетонов.

2. Разработаны следующие нормативно-технические документы, необходимые для реализации в крупных индустриальных центрах таких инновационных технологий с целью одновременного решения вопросов модернизации стройиндустрии в направлении ресурсоэнергосбережения и вопросов защиты окружающей среды:

– кадастр и техническая классификация КТО с перечнем и характеристиками основных продуктов переработки техногенных отходов – низкоэнергоемких и экономически эффективных строительных материалов для основных компонентов легких, мелкозернистых и тяжелых бетонов;

– каталог действующих и находящихся в стадии внедрения пилотных проектов инновационных технологий переработки КТО в составляющие компоненты легких, мелкозернистых и тяжелых бетонов.

3. Специфика комплекса созданных нормативных документов позволяет эффективно использовать их в крупных индустриальных центрах страны на предприятиях стройиндустрии при внедрении разработанных проектов пилотных технологий, обеспечивая не только снижение себестоимости и энергоемкости производства бе-

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярмаковский В.Н. Физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов // Строительные материалы. – 2016, № 6. С. 6...11.
2. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Школьник Я.Ш. Состояние и перспективы использования продуктов переработки техногенных образований в строительной индустрии // Экология и промышленность России. – 2012, № 10. С. 50...54.
3. FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete. Third Edition. – Glasgow and London. Surrey University Press, 2003.
4. Ярмаковский В.Н. Композиционные вяжущие для легких бетонов с высокими показателями теплотехнического качества // Тр. Междунар. научн.-практ. конф.: Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее. – Т. IV, РХТУ им. Д.И. Менделеева, М., 2003. С. 300...307.
5. Yarmakovskiy V.N., Pustovgar A.P. The scientific basis for the creation of a composite binders class, characterized of the low heat conductivity and low sorption activity of cement stone // Proceeding of XXIV R-S-P seminar. Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP). Procedia Engineering. – III, 2015. P. 864...870.
6. Каушанский В.Е. Применение техногенных материалов при производстве цемента // Тр. Междунар. научн.-практ. конф.: Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее. – Т. IV, РХТУ им. Д.И. Менделеева, М., 2003. С. 36...50.
7. Kosmatka S.H., Kerkhoff B. Design and control of concrete mixtures // Guide to application, methods, and materials. Mineral resources, Cement Association of Canada. – 2011, Ottawa.
8. Петров В.П., Макридин Н.И., Ярмаковский В.Н. Пористые заполнители и легкие бетоны. Материаловедение. Технология производства. – Самара, 2009.

1. Jarmakovskij V.N. Fiziko-himicheskie i strukturno-tehnologicheskie osnovy polucheniya vysokoprechnyh i vysokodolgovечnyh konstrukcionnyh legkih betonov // Stroitel'nye materialy. – 2016, № 6. S.6...11.
2. Karpenko N.I., Jarmakovskij V.N., Shkol'nik Ja.Sh. Sostojanie i perspektivy ispol'zovanija produktov pererabotki tehnogennyh obrazovanij v stroitel'noj industrii // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2012, №10.S. 50...54.
3. FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete. Third Edition. – Glasgow and London. Surrey University Press, 2003.
4. Jarmakovskij V.N. Kompozicionnye vjzhashhie dlja legkih betonov s vysokimi pokazateljami teplotehničeskogo kachestva // Tr. Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Nauka i tehnologija silikatnyh materialov – nastojashhee i budushhee. – T.IV, RHTU im. D.I. Mendeleeva, M., 2003. S.300...307.
5. Yarmakovskiy V.N., Pustovgar A.P. The scientific basis for the creation of a composite binders class, characterized of the low heat conductivity and low sorption activity of cement stone // Proceeding of XXIV R-S-P seminar. Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP). Procedia Engineering. – III, 2015. P.864...870.
6. Kaushanskij V.E. Primenenie tehnogennyh materialov pri proizvodstve cementov // Tr. Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Nauka i tehnologija silikatnyh materialov – nastojashhee i budushhee. – T.IV, RHTU im. D.I. Mendeleeva, M., 2003. S. 36...50.
7. Kosmatka S.H., Kerkhoff B. Design and control of concrete mixtures // Guide to application, methods, and materials. Mineral resources, Cement Association of Canada. – 2011, Ottawa.
8. Petrov V.P., Makridin N.I., Jarmakovskij V.N. Poristye zapolniteli i legkie betony. Materialovedenie. Tehnologija proizvodstva. – Samara, 2009.

Рекомендована лабораторией энергоресурсосберегающих легких бетонов и конструкций НИИСФ РААСН. Поступила 03.04.17.