

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-3-117-124

Трепалин Д.В., *Мишин Д.А., Трепалина Ю.Н., Ковалев С.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: mishinda.xtsm@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ ПОЛУСУХИМ СПОСОБОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ И МАЛО ПЛАСТИЧНОГО СЫРЬЯ

Аннотация. В современных условиях более правильным следует считать направление по видоизменению свойств керамзита, выпускаемого на керамзитовых заводах, и определить основные пути его возможного применения. Производство особо легкого керамзитового гравия имеет ряд технологических особенностей.

Одним из основных условий, необходимых для вспучивания глинистого сырья при обжиге, является образование пиропластической массы с оптимальными параметрами вязкости в относительно широком интервале температуры нагрева и выделения из этой массы достаточного количества газообразных продуктов. Степень вспучивания зависит от комплекса факторов, включающих качественный состав исходного сырья, режимы термообработки и физико-химические процессы.

Применение местной сырьевой базы позволяет расширить использование малопластичных глин как компонентов массы. Применение техногенных отходов (шлака, пылеунос из электрофильтра керамзитового производства) позволяет расширить интервал спекания глин местных месторождений (Ястребовское и Харлановское), а введение более пластичной глины позволяет сформировать гранулы полусухим способом. Лабораторные исследования показали, что использование более пластичной глины Пореченского месторождения (Тульская область), как добавки, позволяет получить легкий керамзит при температуре, начиная с 1140 °С. Основные характеристики полученного материала соответствуют ГОСТ 32496-2013.

Ключевые слова: керамзитовый гравий, способы формования, глина, пиритные огарки, пылеунос из электрофильтра керамзитового производства, насыпная плотность.

Введение. Керамические материалы являются главным приоритетом в индивидуальном жилищном строительстве. Эти материалы обладают высокими технико-эксплуатационными характеристиками, долговечностью, экологической чистотой. Не смотря на изменчивый спрос на керамические материалы, а также некоторые экономические и политические проблемы, остро стоит задача улучшения качества производимого материала и расширения ассортимента продукции для строительства зданий и других объектов. Керамзит давно завоевал славу лучшего тепло- и звукоизоляционного строительного материала. Применение керамзитового гравия, как строительного материала, не утратило своего значения, что дает возможность расширить области исследований при производстве керамического пористого заполнителя.

Исследования керамзитобетонных стеновых блоков в сравнении с силикатным и керамическим кирпичом показали, что их использование при строительстве зданий позволяет снизить теплопроводность на 10–67 %, массу стеновой конструкции на 25–29 %, затраты материалов на строительство 1 м³ – на 35–45 % [1]. Одним из путей решения данной проблемы является организация производства особо легкого керамзита с насыпной плотностью 200–250 кг/м³, что соот-

ветственно резко уменьшит его теплопроводность. Однако даже на таком керамзите при использовании стандартных технологий невозможно получение конкурентоспособных керамзитобетонов.

Сырьем для производства керамзита служат глинистые породы, которые относятся, в основном, к осадочным, такие как сланец, тонзиллит и т.д. Для производства керамзита наиболее пригодны монтмориллонитовые и гидрослюдистые глины, содержащие не более 30 % свободного кварца. Общее содержание SiO₂ не должно превышать 70 %, Al₂O₃ – не менее 12 %, Fe₂O₃ + FeO – до 10%, органические примеси – 1–2 %. Присутствие SiO₂ в больших количествах снижает пластические свойства глины; Al₂O₃ придает изделиям огнестойкость; Fe₂O₃ плавится в глине, что снижает ее температуру спекания и плавления, а также придает изделиям цвет; Fe₂O₃ в зависимости от количества в глине может снизить температуру ее спекания; CaO и MgO, равномерно распределенные в глинах, придают изделиям пористость и, следовательно, легкость и высокую водопоглощаемость, Na₂O и K₂O снижают температуру спекания глины [2].

Не смотря на широкое распространение месторождений глин их химический состав не всегда оптимален. По мере развития производства керамзита и совершенствования его технологии

все большее значение приобретают добавки – разнообразные вещества и материалы минерального и органического происхождения, находящиеся в различном агрегатном состоянии, которые вводятся в исходное сырье в процессе производства керамзита. Добавки используют для интенсификации физико-химических процессов при образовании гранул керамзита, повышения качества материала, роста производительности и снижения себестоимости продукции. Степень вспучиваемости исходного глинистого сырья определяет качество не только керамзита, но и качество строительных материалов на его основе [3]. Один из важных факторов, влияющих на температуру и интервал плавления, является химический состав глинистых пород, применяемых при производстве керамического гравия [4]. Он определяет вязкостную характеристику сырья, условия порообразования и вспучивания при обжиге. Химический состав оказывает большое влияние на изменение реологических свойств размягнутой, доведенной до пиропластического состояния глинистой массы и дает возможность корректировать добавками глинистые массы для производства керамзита, при использовании мало вспучиваемого сырья.

Для улучшения процессов вспучивания в глинистых массах контролируют количество Fe_2O_3 . В качестве железосодержащих корректирующих добавок вводят различные компоненты: пиритные огарки, железная руда, нефтесодержащий шлам. Корректировка состава глинистого сырья по количеству свободного кварца, оксида железа и кальция может происходить при введении гальваношамов [2, 5]. В керамическую массу для производства керамзита вводили дизельное топливо, как органоминеральную добавку. Можно также использовать отходы углеобогащения.

Важнейшее из требований к сырью – вспучивание при обжиге. Вспучиваемость характеризуется коэффициентом вспучивания:

$$K_{вс} = \frac{V_k}{V_c},$$

где V_k – объем вспученной гранулы керамзита;

V_c – объем сухой сырцово-гранулы до обжига.

Характеризуется коэффициент соотношением объемов гранул после обжига к объему высушенных гранул при начальной термообработке при температуре $120^\circ C$.

Второе требование к сырью (в значительной степени связанное с первым) – легкоплавкость. Температура обжига должна быть не выше $1250^\circ C$, и при этом переход значительной части наиболее мелких глинистых частиц в расплав

должен обеспечить достаточное размягчение и вязкость массы. В противном случае, образующиеся при обжиге глины газы, не удерживаемые массой, свободно выйдут, не вспучив материал.

Для увеличения коэффициента вспучивания, в качестве источника углерода, в состав массы вводят такие добавки, как уголь, мазут, опилки и другие горючие добавки для увеличения образования газа при горении.

Процесс подготовки сырьевых материалов является важным этапом в технологической цепочке получения керамических гранул. Тонкое измельчение сырьевых материалов позволяет компонентам массы интенсивно взаимодействовать при спекании. Увеличение удельной поверхности частиц, при уменьшении их размера до $0,1$ мм, позволяет компонентам массы равномерно распределяться по объему материала, что приводит к их плотному контакту. Распределение влаги и органической добавки осуществляется совместно при интенсивном перемешивании формовочной массы. Усреднение фракционного состава и образование гранул требуемого размера происходит в смесителе-грануляторе [6, 7].

Химический состав глинистых пород, применяемых при производстве керамзита – наиболее важный фактор, влияющий на температуру и интервал плавления материала. На рисунке 1 представлена диаграмма, позволяющая определить по химическому составу применение корректирующих добавок [4].

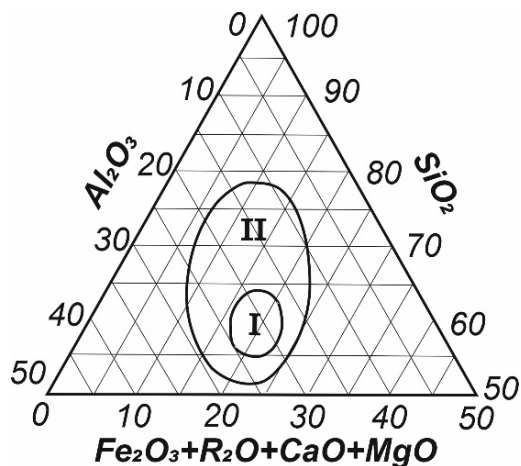
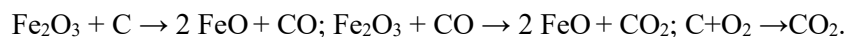
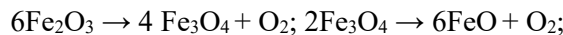


Рис. 1. Поля вспучивания глинистого сырья в тройной диаграмме [4]:

I – область хорошей естественной вспучиваемости,
II – область применения порообразователей

Введение в состав масс техногенных материалов влияет на образование стеклофазы и улучшает физико-механические свойства керамзитового гравия. Проводимые многими исследователями работы это подтверждают [8, 9]. Общее количество вводимых добавок составляет до 10 % от керамической массы.

Процесс обжига является основным при получении керамзитового гравия. Происходит вспучивание полуфабриката при температуре появления жидкой фазы. Количество расплава снижается при увеличении тугоплавких соединений [10, 11]. Основным условием, обеспечивающим вспучивание глинистых пород при нагревании,



При попадании в зону максимальной температуры, в изделиях резко возрастает количество жидкой фазы. Происходит уплотнение оболочки, в результате чего она становится газонепроницаемой, а будучи в припопластическом состоянии является способной к деформации без разрыва сплошности [12].

При недостатке в глинистом сырье окислов железа и при наличии достаточного количества органических примесей интенсивное вспучивание можно обеспечить введением таких добавок как: пиритные огарки, железной и болотной руды до оптимального количества. Введение жидких нефтепроизводных веществ образует органоминеральные комплексы с наличием сложных физико-химических явлений в структуре глинистых минералов. Шихты обладают хорошей пирохимической активностью. Оптимальное количество вводимых вспучивающих добавок составляет 0,5–2,0 % [13].

Отдельное использование корректирующих добавок позволяет получить продукт с заданными свойствами. Однако комплексное использование методов корректирования химического состава керамических масс для производства мелкофракционных заполнителей в литературе в полном объеме не освещено. Целью проводимых исследований комплексного влияния корректирующих добавок, является определение возможности управления формирования макроструктуры керамзитового гравия. Одной из главных задач разработки такой технологии является расширение сырьевой и компонентной базы для производства керамзитового гравия.

является совмещение во времени припопластического состояния глины с интенсивным газовыделением внутри обжигаемого материала [10]. Предварительный прогрев гранул позволяет органической составляющей в керамической массе нагреться до температуры вспышки и начала интенсивного разложения и окисления, перехода

Материалы и методы. Для анализа возможностей применения глинистого сырья Белгородской области для производства кармического пористого заполнителя были рассмотрены глины ближайших месторождений. На предприятии г. Белгорода АО «Завод ЖБК-1» производится керамический гравий по пластическому способу производства с использованием Ястребовской глины. Месторождение используется довольно долгое время, поэтому была рассмотрена возможность использовать глину другого близлежащего месторождения (Харлановского). Применение техногенных отходов (шлака, пылеунос из электрофилтра керамзитового производства АО «Завод ЖБК-1», г. Белгород, пиритные огарки АО «Аммофос», г. Череповец, Вологодская область) позволяет расширить интервал спекания глин местных месторождений, а введение более пластичной глины позволяет сформировать гранулы полусухим порошковым способом.

Глины Белгородской области обладают средней и малой пластичностью, что сказывается на вспучиваемости. При получении керамзитового гравия из местных глин в качестве глинистого сырья использовались – глины месторождений, расположенных в Белгородском районе, а также пластичные глины Пореченского месторождения (Тульская область) и Латненского месторождения (Воронежская область).

Химический состав всех используемых в исследовательской работе компонентов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав компонентов

Наименование компонента	Содержание в массе, %									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	п.п.п.
Ястребовская глина (№ 1)	66,70	0,85	12,50	5,19	3,78	1,39	2,08	0,57	0,22	6,40
Харлановская глина (№ 2)	69,10	0,91	13,60	5,66	1,34	1,47	2,10	0,49	0,10	4,88
Пореченская глина	48,80	0,74	22,90	9,73	2,61	1,87	3,36	0,13	0,03	9,51
Латненская глина	48,50	1,82	34,20	0,97	0,70	0,36	0,33	0,07	0,01	13,00
Пиритный огарок	20,80	0,20	4,25	58,20	1,62	1,04	0,47	0,49	4,15	4,44
Пылеунос из электрофилтра	64,99	0,82	19,21	5,71	2,64	2,93	2,2	0,56	0,13	–

Основная часть. Исследования проводились в 2 этапа. На первом этапе было необходимо выяснить, какая из рассматриваемых глин местных месторождений наиболее соответствует требованиям, предъявляемым к сырью для производства легкого и тяжелого керамического гравия. Для увеличения количества пиропластической составляющей в состав вводили пиритные

огарки (ПО), повышая количество железа в массе. Были определены свойства глин при вспучивании с применением и без корректирующих вспучивающих добавок.

Составы разработанных масс приведены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание компонентов в составах масс

Составы сырьевых масс	Содержание сырьевых компонентов, масс. %					
	Глина Ястребовская	Глина Харлановская	Глина Подгоренская	Глина ЛТ	ПО	ДТ
Состав 1	100,00	–	–	–	–	–
Состав 2	99,00	–	–	–	–	1,00
Состав 3	95,00	–	–	–	3,00	2,00
Состав 4	–	100,00	–	–	–	–
Состав 5	–	99,00	–	–	–	1,00
Состав 6	–	95,00	–	–	3,00	2,00

Введение ПО увеличивает образование жидкой фазы, что влияет на спекание гранул.

Были отформованы гранулы, которые обжигали при температуре 1140–1220 °С с шагом 20 °С и выдержкой при максимальной температуре в течении 10 мин, с предварительным подогревом 20 мин при температуре 400 °С. Затем го-

товые гранулы испытывали для определения физико-механических свойств полученных образцов.

В результате исследования были изучены основные физико-механические свойства. Одним из наиболее важных является насыпная плотность. Показатель насыпной плотности керамзитовых гранул приведен в таблице 3.

Таблица 3

(Насыпная) плотность гранул керамзита, кг/м³

Составы сырьевых масс	Температура вспучивания, °С				
	1140	1160	1180	1200	1220
Состав 1	860	807	719	546	498
Состав 2	687	566	465	435	401
Состав 3	906	825	653	546	487
Состав 4	1206	1118	955	740	705
Состав 5	532	446	390	340	336
Состав 6	1012	841	733	570	479

Исследования показали, что без введения каких-либо добавок глина Ястребовского месторождения вспучивается лучше, а насыпная плотность гранул в 1,2–1,4 раза ниже, чем у образцов из Харлановской глины. Введение в массу выгорающей добавки – дизельного топлива, позволяет Харлановской глине показать лучшие свойства по сравнению с Ястребовской глиной. При введении ПО + ДТ свойства практически выравниваются.

На втором этапе исследований в массы вводили пластичные глины, для улучшения формовочных свойств полуфабриката. Местные глины использовали в соотношении 1:1, т.к. предыдущие исследования показали схожесть обжиговых свойств при введении вспучивающей добавки.

Введение в массу дополнительно пластичной глины и корректирующей железосодержащей добавки позволяет расширить области исследований и разработки составов для производства керамического гравия. Применение пыли из электрофилтра керамзитового производства АО «Завод ЖБК-1», г. Белгород (ПЭ), решает проблему с утилизацией отходов в рамках программ по защите окружающей среды. Химический состав ПЭ идентичен составу обожженного из применяемых глин керамзита.

Разработанные для исследований составы приведены в таблице 4.

Были также отформованы гранулы, которые обжигали при температурах 1120–1220 °С с шагом 20 °С. Условия предварительной подготовки

гранул соответствуют предыдущей серии экспериментов. Далее были исследованы физико-ме-

ханические свойства полученных образцов. Показатель насыпной плотности керамзитовых гранул приведен в таблице 5.

Таблица 4

Содержание компонентов в составах масс

Составы сырьевых масс	Содержание сырьевых компонентов, масс. %						
	Глина Ястребовская	Глина Харлановская	Глина Подгоренская	Глина ЛТ	ПО	ДТ	ПЭ
Состав 7	35,00	35,00	19,00	–	8,00	1,00	2,00
Состав 8	35,00	35,00	24,00	–	3,00	1,00	2,00
Состав 9	37,00	37,00	20,00	–	3,00	1,00	2,00
Состав 10	39,50	39,50	15,00	–	3,00	1,00	2,00
Состав 11	35,00	35,00	–	20,00	7,00	1,00	2,00
Состав 12	39,00	39,00	–	10,00	9,00	1,00	2,00

Таблица 5

(Насыпная) плотность гранул керамзита, кг/м³

Составы сырьевых масс	Температура вспучивания, °С					
	1120	1140	1160	1180	1200	1220
Состав 7	294	246	234	234	277	297
Состав 8	381	301	263	219	206	229
Состав 9	434	330	298	239	238	202
Состав 10	362	272	232	227	219	240
Состав 11	544	417	362	304	241	218
Состав 12	512	440	358	335	295	329

Проведенные исследования показали, что введение в массу Пореченской глины позволяет получить легкий керамзит при низких температурах – 1120 °С, при введении в состав достаточно большого (до 8 %) количества ПО. Снижение количества ПО позволяет получить легкий керамический гравий при температуре 1160–1200 °С. Из данных приведенных в таблице 5 видно, что при введении в массу Латненской глины, при соблюдении тех же условий, наиболее легкий керамзит получается при температуре 1220 °С (состав 11). Все исследования проводились в соответствии с требованиями ГОСТ и технологических приемов [14, 15].

Выводы. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что образцы на основе глины Ястребовского месторождения, без введения каких-либо добавок, вспучиваются уже при температуре 1140°С и соответствуют марке М800, а при температуре 1200°С – марке М500 в соответствии с ГОСТ 32496-2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия». Введение корректирующих и вспучивающих добавок (пиритные огарки, пылеунос из электрофилтра керамзитового производства) повышает коэффициент вспучивания глины в 2,5 раза, что, в свою очередь, снижает насыпную плотность.

При введении Пореченской глины, при температурах обжига 1140–1180 °С, полученные массы могут соответствовать марке М300 и

М200. Введение тугоплавких глин повлияло на изменение насыпной плотности готовой продукции: насыпная плотность снизилась с 544–512 кг/м³ до 218–329 кг/м³ при увеличении введения ЛТ-1.

Повышение температуры обжига до 1220°С позволило получить керамзитовый гравий с низкой насыпной плотностью готовой продукции. Образцы из местных глин с низким коэффициентом вспучивания, при использовании ряда корректирующих добавок (пиритные огарки, пылеунос из электрофилтра керамзитового производства, дизельного топлива), подходят для производства керамзитового гравия в Белгородской области и позволяют расширить ассортимент производимой продукции, от тяжелого керамзита до легкого.

Источник финансирования. Работа выполнена в БГТУ им. В.Г. Шухова в рамках реализации Программы развития университета «ПРИОРИТЕТ 2030» (проект № СП1-5/3-2024 «Организация пилотного опытно-промышленного производства мелкофракционного легкого пористого заполнителя»), с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горин В.М., Токарева С.А., Сухов В.Ю., Нехаев П.Ф. Расширение области применения керамзитового гравия // Строительные материалы. 2003. № 11. С. 19–21.
2. Соколов Л.И., Фоменко А.И. Использование отходов в производстве керамзита // Экология и промышленность России. 2015. № 9. Т. 19. С. 30–34.
3. Нестерцов А.И. Расширение сырьевой базы производства керамзита // Строительные материалы. 1992. № 2. С. 21–22.
4. Каленов Е.М. Повышение качества керамзита. К.: Будівельник, 1984. 61 с.
5. Терехина Ю.В., Талпа Б.В., Котляр А.В. Минералого-технологические особенности литифицированных глинистых пород и перспективы их использования для производства строительной керамики // Строительные материалы. 2017. № 4. С. 16–19.
6. Патент № 2637966. Российская Федерация, МПК В01J2/10 (2006.01). Способ получения оптимизированного гранулята : № 2015142150/14: заявл. 18.03.2014 : опубл. 08.12.2017 / Нольд П. – 20 с
7. Патент № 2291126 Российская Федерация, МПК С03С 11/10 (2006.01). Способ получения гранулированного пеносиликата – пеносиликатного гравия : № 2005110360/03 : заявл. 11.04.2005 : опубл. 10.01.2007 / Кетов А.А., Пузанов И.С., Пузанов С.И., Пьянков М.П., Рассомагина А.С., Саулин Д.В. 13 с.
8. Василенко Т.А., Ламакина М.П. Физико-механические свойства керамзитового гравия, полученного с использованием электросталеплавильного шлака // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 187–196.
9. Василенко Т.А., Али Салех-Жафер. Применение кальцийсодержащих техногенных материалов в производстве керамзитового гравия // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2015. № 2. С. 106–113.
10. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. М.: Стройиздат, 1974. 320 с.
11. Виноградов Б.Н. Петрография искусственных пористых заполнителей. М.: Стройиздат, 1972. 136 с.
12. Чумаченко Н.Г. Влияние состава расплава и не растворившегося остатка на свойства керамзитового гравия // Строительные материалы. 2013. № 1. С. 56–60.
13. Онацкий С.П. Производство керамзита. М.: Стройиздат, 1987. 333 с.
14. ГОСТ 32496-2013. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия : межгосударственный стандарт : дата введения 2019-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. Изд. официальное. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
15. Будников П.П., Балкевич В.Л., Бережной А.С., Булавин И.А., Куколев Г.В., Полубояринов Д.Н. Химическая технология керамики и огнеупоров / под ред. П.П. Будникова, Д.Н. Полубояринова. М.: Стройиздат, 1972. 552 с.

Информация об авторах

Трепалин Дмитрий Викторович, аспирант кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: extrepalin@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мишин Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: mishinda.xtsm@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Трепалина Юлия Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: yliaalin@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ковалев Сергей Викторович, старший преподаватель кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: k-ws@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 19.12.2024 г.

© Трепалин Д.В., Мишин Д.А., Трепалина Ю.Н., Ковалев С.В., 2025

Trepalin D.V., *Mishin D.A., Trepalina Yu.N., Kovalev S.V.
 Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova
 *E-mail: mishinda.xtasm@yandex.ru

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF EXPANDED GRAVEL BY SEMI-DRY METHOD USING TECHNOGENIC WASTE AND LOW PLASTIC RAW MATERIALS

Abstract. In modern conditions, it is more correct to consider the direction of modifying the properties of expanded clay produced at expanded clay factories, and to determine the main ways of its possible use. The production of extra-light expanded clay gravel has a number of technological features.

One of the main conditions necessary for the swelling of clay raw materials during firing is the formation of a pyroplastic mass with optimal viscosity parameters in a relatively wide range of heating temperatures and the release of a sufficient amount of gaseous products from this mass. The degree of swelling depends on a set of factors, including the qualitative composition of the initial raw materials, heat treatment modes and physicochemical processes.

The use of local raw materials allows to expand the use of low-plasticity clays as components of the mass. The use of man-made waste (slag, dust from the electrostatic precipitator of expanded clay production of JSC «Zavod ZhBK-1», Belgorod, pyrite cinders of JSC «Ammophos», Cherepovets, Vologda Region) allows to expand the sintering range of clays from local deposits (Yastrebovskoye and Kharlanovskiy), and the introduction of more plastic clay allows to form granules in a semi-dry way.

Laboratory studies have shown that the use of more plastic clay from the Porechenskoye deposit (Tula region) as an additive allows obtaining lightweight expanded clay at temperatures starting from 1140 °C. The main characteristics of the obtained material comply with GOST 32496-2013.

Keywords: expanded clay gravel, molding methods, clay, pyrite cinders, dust removal from the electrostatic precipitator of expanded clay production, bulk density

REFERENCES

- Gorin V.M., Tokareva S.A., Sukhov V.Yu., Nekhaev P.F. Expanding the scope of expanded clay gravel [Rasshireniye oblasti primeneniya keramzitovogo graviya]. Construction materials. 2003. No. 11. Pp. 19–21.
- Sokolov L.I., Fomenko A.I. Use of waste in expanded clay production [Ispolzovaniye otkhodov v proizvodstve keramzita]. Ecology and industry of Russia. 2015. No. 9. Vol. 19. Pp. 30–34.
- Nestertsov A.I. Expansion of the raw material base for expanded clay production [Rasshireniye syryevoy bazy proizvodstva keramzita]. Construction materials. 1992. No. 2. Pp. 21–22.
- Kalenov E.M. Improving the quality of expanded clay [Povysheniye kachestva keramzita]. K.: Budivelnik, 1984. 61 p.
- Terekhina Yu.V., Talpa B.V., Kotlyar A.V. Mineralogical and technological features of lithified clay rocks and prospects for their use for the production of building ceramics [Mineralogo-tekhnologicheskiye osobennosti litifitsirovannykh glinistykh porod i perspektivy ikh ispolzovaniya dlya proizvodstva stroitelnoy keramiki]. Construction materials. 2017. No. 4. Pp. 16–19.
- Patent No. 2637966. Russian Federation, IPC B01J2/10 (2006.01). Method for producing optimized granules [Sposob polucheniya optimizirovannogo granulyata]: No. 2015142150/14: declared. 18.03.2014: published. 08.12.2017 / Nold P. 20 p.
- Patent No. 2291126 Russian Federation, IPC C03C 11/10 (2006.01). Method for producing granulated foam silicate – foam silicate gravel [Sposob polucheniya granulirovannogo penosilikata – penosilikatnogo graviya]: No. 2005110360/03: declared 11.04.2005: published 10.01.2007 / Ketov A.A., Puzanov I.S., Puzanov S.I., Pyankov M.P., Rassomagina A.S., Saulin D.V. 13 p.
- Vasilenko T.A., Lamakina M.P. Physicochemical properties of expanded clay gravel obtained using electric steelmaking slag [Fiziko-mekhanicheskiye svoystva keramzitovogo graviya, poluchennogo s ispolzovaniyem elektrostaleplavilnogo shlaka]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 6. P. 187–196.
- Vasilenko T.A., Ali Saleh-Zhafer Application of Calcium-Containing Man-Made Materials in the Production of Expanded Clay Gravel [Primeneniye kaltsiysooderzhashchikh tekhnogennykh materialov v proizvodstve keramzitovogo graviya]. Bulletin of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences. 2015. No. 2. P. 106–113.
- Rogovoy M.I. Technology of Artificial Porous Fillers and Ceramics [Tekhnologiya iskusstvennykh poristykh zapolniteley i keramiki]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 320 p.
- Vinogradov B.N. Petrography of Artificial Porous Fillers [Petrografiya iskusstvennykh poristykh zapolniteley]. Moscow: Stroyizdat, 1972. 136 p.

12. Chumachenko N.G. Effect of Melt Composition and Undissolved Residue on the Properties of Expanded Clay Gravel [Vliyaniye sostava rasplova i ne rastvorivshegosya ostatka na svoystva keramzitovogo graviya]. Construction Materials. 2013. No. 1. Pp. 56–60.

13. Onatsky S.P. Production of expanded clay [Proizvodstvo keramzita]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 333 p.

14. GOST 32496-2013. Porous fillers for lightweight concrete. Specifications [Zapolniteli poristyye dlya legkikh betonov. Tekhnicheskiye

usloviya]: interstate standard: date of introduction 2019-07-01 / Federal Agency for Technical Regulation. - Official ed. - Moscow: Standartinform, 2014. 12 p.

15. Budnikov P.P., Balkevich V.L., Berezhnoy A.S., Bulavin I.A., Kukolev G.V., Poluboyarinov D.N. Chemical technology of ceramics and refractories [Khimicheskaya tekhnologiya keramiki i ogneuporov]. edited by P.P. Budnikov, D.N. Poluboyarinov. Moscow: Stroyizdat, 1972. 552 p.

Information about the authors

Trepalin, Dmitry V. Postgraduate student of the Department of Glass and Ceramics Technology. E-mail: extrepalin@inbox.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Mishin, Dmitry A. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cement and Composite Materials Technology. E-mail: mishinda.xtsm@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Trepalina, Yulia N. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Glass and Ceramics Technology. E-mail: ylialin@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Kovalev, Sergey V. Senior Lecturer, Department of Cement and Composite Materials Technology. E-mail: kws@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Received 19.12.2024

Для цитирования:

Трепалин Д.В., Мишин Д.А., Трепалина Ю.Н., Ковалев С.В. Разработка технологии производства керамзитового гравия полусухим способом с использованием техногенных отходов и мало пластичного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 3. С. 117–124. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-3-117-124

For citation:

Trepalin D.V., Mishin D.A., Trepalina Yu.N., Kovalev S.V. Development of technology for production of expanded gravel by semi-dry method using technogenic waste and low plastic raw materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 3. Pp. 117–124. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-3-117-124