

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-9-62-70

Трепалин Д.В., *Мишин Д.А., Трепалина Ю.Н., Ковалев С.В., Смагина А.Р.*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: mishinda.xtsm@yandex.ru*

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВАНИЯ МЕЛКОФРАКЦИОННОГО КЕРАМЗИТА ИЗ МАЛОПЛАСТИЧНОГО СЫРЬЯ

Аннотация. Состояние современной экономики ставит перед производителями задачи по замещению импортных композиционных материалов, как в случае с мелкофракционным керамзитом. Остановка сотрудничества с компаниями Laterlite (Италия) и Liapor (Германия), по созданию совместного предприятия по выпуску современных стеновых материалов и сухих строительных смесей на базе собственного производства, дала старт проведению исследований в этом направлении. Разрабатываемые составы из глин местных месторождений позволяют получить керамзитовый гравий из малопластичного сырья и техногенных отходов. Отработка способов гранулирования позволяет получать мелкие фракции из керамических составов на начальном этапе производства керамзита. Это дает возможность использовать технологию получения мелкофракционного керамзита (размер гранул менее 5 мм) без дробления крупных гранул, как это осуществляется по классическому пластическому методу формования. Изменение скорости вращения ротора гранулятора, позволяет формировать сферические гранулы различного размера. Применение опудривания гранул не дает возможности полуфабрикату слипаться между собой. Разрабатываемая технология формования гранул позволяет получать керамзит заданных мелких фракций (1–2 мм и 2–5 мм) в достаточно большом количестве – до 60 – 70 %.

Ключевые слова: керамзитовый гравий, способы формования, глина, мел, скорость вращения ротора, влажность массы, опудривание, фракционный состав.

Введение. Керамзитовый гравий является одним из распространенных материалов строительной отрасли. Он используется для утепления зданий и перекрытий, как заполнитель в бетонах [1–3]. В настоящее время керамзит нашел новую область применения, как заполнитель для производства особых строительных материалов. Примером таких материалов могут служить внутренние и внешние аквапанели, основу сердечника которых составляет мелкофракционный пористый заполнитель. Аквапанели на нашем рынке были представлены продукцией фирмы KNAUF. Для производства качественных панелей требуются узкие мелкие фракции керамзита сферической формы (0–3 мм). При существующем уровне технологий отечественных производителей получать такие фракции довольно затруднительно. В основном мелкие фракции получают отсевом из общей массы или дроблением крупных фракций керамзита. Доля мелкой фракции керамзита невелика, а при дроблении качество гранул ухудшается. Возникает необходимость разработки новых технологий получения мелкофракционного керамзита.

Размер гранулы керамзита определяется, в первую очередь, размером гранулы полуфабриката. Получение изначально мелких гранул полуфабриката осложняется тем, что большинство отечественных заводов работает на малопластичном сырье, которое составляет основную часть

месторождений для производства керамзита. Это обуславливает преимущественное использование пластического метода формования гранул (более 80% действующих предприятий), при котором основное количество гранул полуфабриката достигает большого размера 10–20 мм [4, 5].

Мелкие гранулы керамзита можно получить сухим способом, который предполагает дробление однородного, плотного (камнеподобного) глинистого сырья (глинистые сланцы, аргиллиты и др.) пониженной влажности. Однако данный способ исключает использование слабовспучивающихся глин для получения керамзита, т.к. отсутствует возможность дополнительного введения вспучивающего агента. Это сужает сырьевую базу для получения мелкофракционного заполнителя.

Технологии сухого и пластического формования не всегда дают возможность получать гранулы сферической формы. Пластическим способом получают гранулы вытянутой продолговатой формы, которые в процессе сушки ударяются друг о друга, образуя мелкие и неровные частицы. При обжиге таких мелких частиц сферичная форма отсутствует. Сферические гранулы можно получить при использовании шликерного способа производства полуфабриката. Однако, этот способ достаточно трудоемкий и энергозатратный и поэтому не используется.

Достижение показателей размера гранулы керамзита и ее сферичности обеспечит конкурентоспособность отечественных материалов с зарубежными производителями.

Поэтому целью данной работы является разработка новой технологии формования сферических гранул полуфабриката для получения мелкофракционного керамзита из малопластичного сырья.

Материалы и методы. В качестве основного компонента для керамических масс при производстве мелкофракционного керамического гравия использовали умереннопластичную глину Харлановского месторождения (Белгородская область), число пластичности которой составляет ЧП=14. В качестве корректирующих добавок была рассмотрена пластичная глина (число пластичности ЧП=27) Латненского месторождения марки ЛТ-1 (Воронежская обл.). Минералогический состав глин выявлен на рентгенофлуоресцентном спектрометре серии ARL 9900 WorkStation со встроенной системой дифракции.

Используемые глины являются слабовспучивающимися, коэффициент вспучивания 1,2 – 1,6. На образование газов при вспучивании влияет как минералогический состав сырья, так и введение корректирующих добавок, которые могут влиять так же и на возникновение пиропластического состояния [4, 6, 7]. Поэтому для улучшения вспучивания использовали дизельное топливо (ДТ).

С другой стороны, тонкий помол сырья (без добавок) улучшает пластичность глины [8], способствует вспучиванию, снижая объемной массу керамзита на 50–120 кг/м³ за счет снижения вязкости расплава и уменьшения газопроводимости материала, находящегося в пиропластическом состоянии в период вспучивания [9, 10], повышает реакционную способность глинообразующих частичек, улучшает структуру керамзита и прочность, а также положительно отражается на технико-экономических показателях производства [11].

Поэтому глины, предварительно высушенные при 100–120 °С до постоянной массы, измельчались в бегунах ЛМе до полного прохождения через сито № 0,16. Рассев частиц осуществлялся с помощью вибросита. Фракция, не прошедшая через сито, возвращалась на домол в бегуны.

Составы для исследования были ранее разработаны и изучены с применением пластического способа подготовки масс [12]. Они показали хорошие результаты после обжига. Насыпная плотность составила 0,78...0,43 г/см³, коэффициент вспучивания – 1,6...2,8.

Для исследования возможности получения мелкой фракции керамзита (размером 2 – 5 мм), были выделены составы, показавшие лучшие характеристики.

Составы исследуемых масс приведены в таблице 1.

Таблица 1

Составы экспериментальных масс

Составы сырьевых масс	Содержание сырьевых компонентов, масс. %		
	глина Харлановская	глина ЛТ-1	дизельное топливо (ДТ)
Состав 1	100	–	–
Состав 2	100	–	1,00
Состав 3	80	20	–

Смешение составов, увлажнение и получение гранул осуществляли в одном агрегате смесителя-гранулятора турболопастным интенсивного действия СГТЛ-20.

Для получения состава № 2 глину и вспучивающую добавку - дизельного топлива предварительно смешивали в емкости с резиновыми шарами в течение 60 минут.

При получении гранул использовалось опудривание мелом в количестве 1,2–1,5 % от сухой массы глины.

Основная часть. Согласно ГОСТ 9169-75 (Сырье глинистое для керамической промышленности) исследуемое глинистое сырье Харлановского месторождения классифицируется по группе полуокислого сырья (Al_2O_3 – 18,58%) с высоким содержанием красящих оксидов

(Fe_2O_3 – 3,99 %). Глина Латненского месторождения относится к группе высокоосновных глин (Al_2O_3 – 40,07 %) [13].

Данные фазового анализа глины Харлановского месторождения представлены на рисунке 1.

Минералогический состав Харлановской глины, по данным анализа порошковой рентгеновской дифрактограммы (рис.1), представлен основным минералом: монтмориллонитом (14,779; 4,466; 2,564). В качестве примесей присутствуют: кварц (4,258; 3,348; 2,549; 2,282; 2,129; 1,982; 1,819), иллит (4,044; 2,240) и кальцит (3,034). Наличие кальцита делает возможным процесс вспучивания гранул без введения корректирующих добавок.

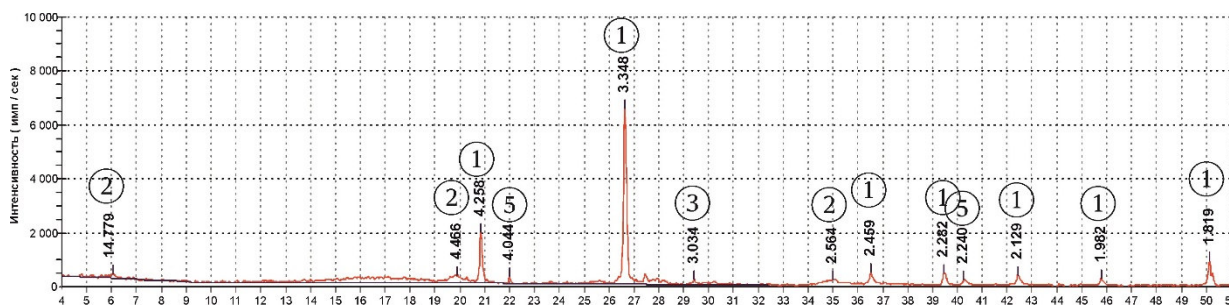


Рис. 1. Порошковая рентгеновская дифрактограмма глины Харлановского месторождения.

① – кварц; ② – монтмориллонит; ③ – кальцит, ⑤ – иллит

Данные фазового анализа глины Латненского месторождения представлены на рисунке 2.

Минералогический состав Латненской глины, по данным рентгенофазового анализа (рис. 2), представлен основным минералом: каолинитом (7,219; 4,457; 3,579; 2,562; 2,453; 2,349;

2,193). В качестве примесей присутствует кварц (4,266; 3,348; 2,453; 2,285; 2,130; 1,983; 1,820). Соединения железа и карбоната кальция отсутствуют.

Фазовый состав мела для опудривания представлен на рисунке 3.

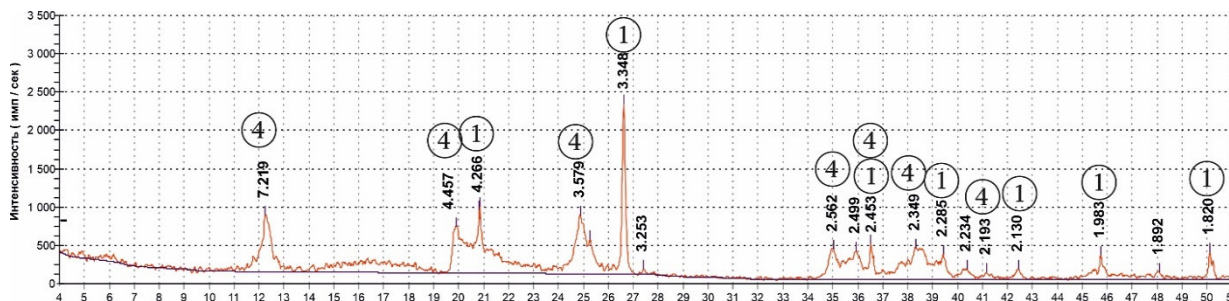


Рис. 2. Порошковая рентгеновская дифрактограмма глины Латненского месторождения.

① – кварц; ④ – каолинит

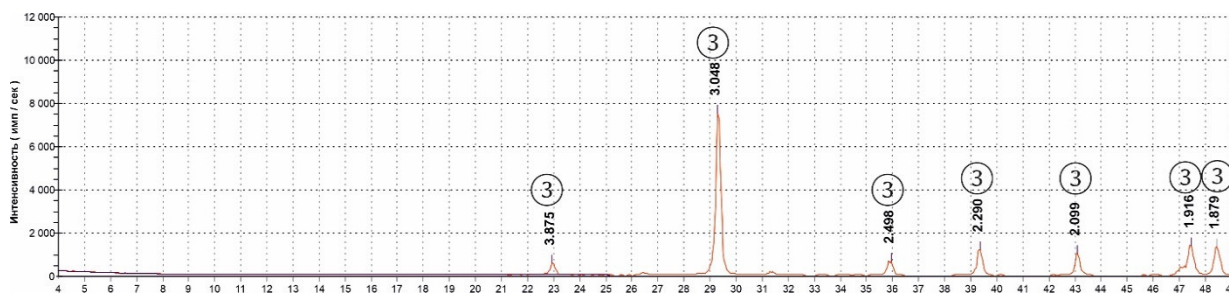


Рис. 3. Порошковая рентгеновская дифрактограмма мела Белгородского месторождения

③ – кальцит

На рис. 3 представлена дифрактограмма Белгородского мела основной минерал представлен карбонатом кальция. Использование в массе для производства керамзита мела и кальцийсодержащих добавок хорошо известно и применяется на некоторых предприятиях [14].

В результате проведенных экспериментов был определен оптимальный режим гранулирования. Он заключался в постадийном смешивании и увлажнении керамической массы:

а) Первичное увлажнение массы составляет 90% от общей влажности интенсивной подачей воды в смеситель. Смешивание – гранулирование происходит в течении 2 мин при скорости вращения ротора 1800 об/мин (30 Гц).

б) Далее происходит доувлажнение массы путем ввода еще 5 % общего количества воды методом орошения. Гранулирование происходит при снижении скорости вращения ротора до 900 об/мин (15 Гц). Процесс гранулирования осуществляется в течение 2 минут.

в) На заключительном этапе грануляции масса методом орошения доувлажняется оставшимся количеством воды, а гранулирование происходит при скорости вращения ротора 420 об/мин (7 Гц) в течение 2 мин.

г) Перед выгрузкой, для снижения слипания влажных гранул, происходит опудривание полуфабриката тонкомолотым мелом Белгородского

месторождения. Количество опудривающей добавки составляет около 1,2–1,5 % от массы сухой смеси.

Общая влажность полученной массы составляет 14–14,7 %.

Выбор скорости вращения ротора основан на том, что при высокой скорости вращения формируются гранулы низкой сферичности. Работа смесителя в режиме скорости вращения ротора 3000 об/мин (50 Гц) не позволяет получить сферичные гранулы (рис. 4 а).

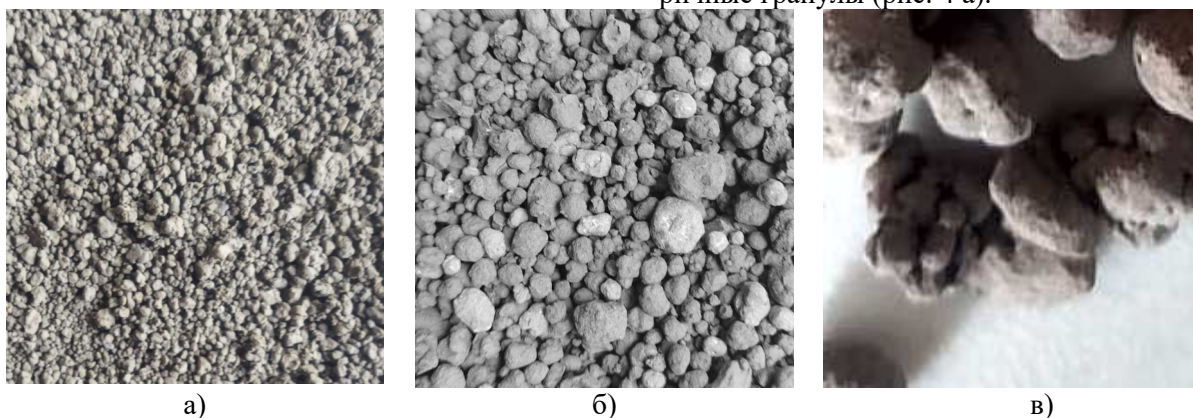


Рис. 4. Внешний вид гранул при скорости вращения ротора: а) 3000 об/мин; б) 1800 об/мин; в) 900 об/мин

При снижении скорости вращения ротора до 1800 об/мин (30 Гц) (рис. 4 б) формируются более крупные гранулы, обладающие лучшей сферичностью. Дальнейшее снижение скорости вращения ротора приводит к снижению качества гранул. Они становятся рыхлыми и пористыми (рис. 4в), т.к скорости ротора не хватает, чтобы сбить первичные гранулы глины в плотную частицу.

На плотность гранул влияет время смешивания глиняной массы и воды. При увеличении времени смешивания происходит более равномерное распределение влажности по всему объему

гранулы. Это способствует повышению пластической прочности [15]. В принятом режиме вращения ротора 1800 об/мин (30 Гц) время перемешивания сухой глиняной массы с вводимой водой определяет качество затворения глинистых частиц. При продолжительности перемешивания массы в течении 30 сек, гранулы имеют рыхлую структуру и пластическую прочности равную $14,7 \cdot 10^{-4}$ Па. Увеличение времени гранулирования до 2 минут, позволяет уплотнить материал до пластической прочности равной $41,5 \cdot 10^{-4}$ Па.

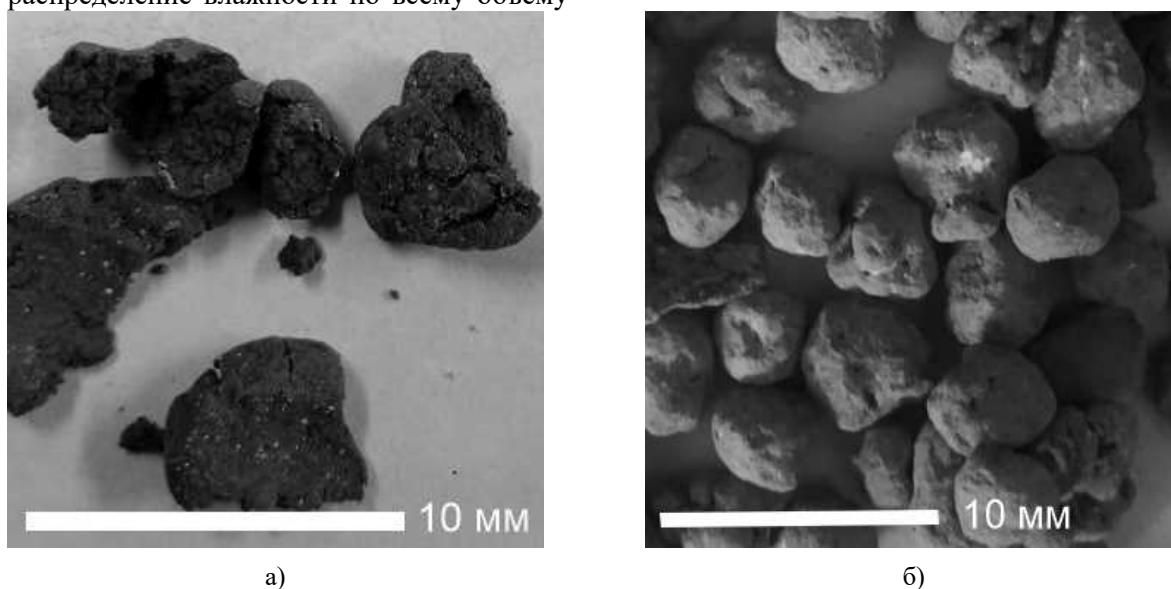


Рис. 5. Влияние времени формирования гранулы на ее качество при скорости вращения ротора 1800 об/мин: а) 30 секунд; б) 120 секунд.

Равномерность распределения воды и качество гранулы зависит от способа подачи воды в сухую массу. При вводе всего количества воды за 1 этап достигается первоначально неравномерное распределение воды в глиняной массе. Это приводит к формированию большого количества первичных крупных гранул, которые с трудом

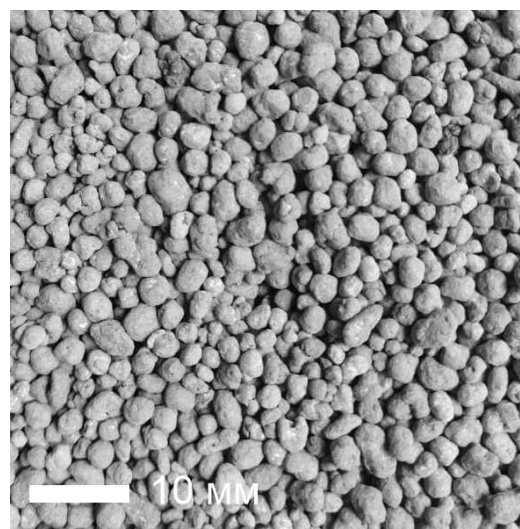
разбиваются при вращении ротора, и к неравномерности распределения фракционного состава (рис. 6а) Наилучшая сферичность и равномерность фракционного состава массы достигаются при стадийном вводе воды для увлажнения в три этапа. Скорость вращения на каждом из этапов понижается для лучшего окатывания гранулы.

На первом этапе добавляется 90 % общего количества воды и происходит гранулирование в режиме скорости вращения ротора 1800 об/мин (30 Гц). При этом размер первичных гранул изначально меньше, чем при вводе всей массы воды за этап. На втором этапе скорость вращения ротора снижается до 900 об/мин (15 Гц) и добавляется 5 % общей массы воды, а на третьем до

420 об/мин (7 Гц) и добавляется остаток воды. Более высокая сферичность гранулы при стадийном вводе воды достигается за счет добавления массы воды на втором и третьем этапе путем поверхностного увлажнения гранулы и наката на нее тонкой фракции гранул и неувлажненного материала.



а)



б)

Рис. 6. Влияние стадийности введения воды на форму и фракционный состав гранул:
а) введение всей воды за 1 этап; б) введение воды в 3 этапа (90%-5%-5%)

Особую роль в распределении фракционного состава играет метод подачи воды в массу. Разбрызгивание воды крупными каплями формирует крупные первичные гранулы. Подача воды распылением формирует более мелкие и равномерные первичные гранулы.

Как показали текущие исследования введение 1% дизельного топлива в качестве вспучивающего агента (состав № 2) практически не оказывает влияния на форму, прочность гранулы и фракционное распределение (таблица 2) при изученных режимах формования. Следовательно, корректировка ранее подобранных режимов не требуется.

Таблица 2

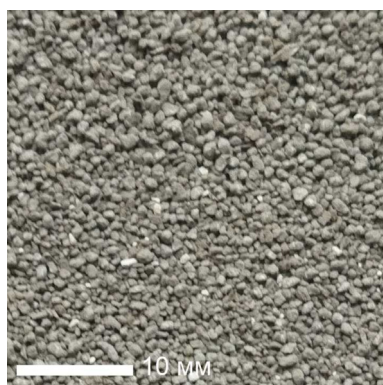
Фракционный состав гранул после гранулирования

Фракция	Массовая доля фракции, %		
	состав 1	состав 2	состав 3
>10 мм	0,23	0	0
10 – 7 мм	2,64	1,22	1,7
7 – 5 мм	9,07	5,92	6,83
5 – 2 мм	67,23	76,33	30
2 – 1 мм	17,75	14,69	51,23
<1 мм	3,1	2,04	10,98

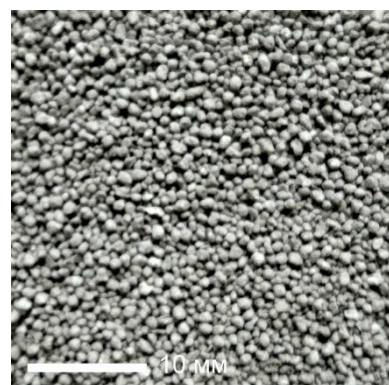
Введение в состав Харлановской глины более пластичной глины Латненского месторождения дает возможность уменьшить размер гранул (Таблица 2, состав № 3). Введение в состав массы высокопластичной (ЧП = 27) глины Латненского месторождения снижает количество фракции 5–2 мм и увеличивает количество более мелкой (2–1 мм) фракции до 50 %. При этом фракция менее 1 мм не является пылевидной, а также представляет собой гранулы. В случае добавления пластичной глины Латненского месторождения видна более высокая сферичность гранул.

Анализ данных (табл. 2) позволяет сделать вывод, что отрабатываемая технология формования гранул позволяет получать достаточное количество мелкой фракции полуфабриката (5–2 мм) при получения пористого заполнителя для производства высокопрочных легких конструктивных бетонов.

При добавлении воды на последних стадиях формования может возникнуть ситуация, при которой уже сформованные гранулы слипаются в агломераты (рис. 8.). Избежать данной ситуации позволяет опудривание мелом. Рассыпчатость сформованной массы существенно повышается. Это существенно облегчит ее выгрузку и транспортировку.



а)



б)

Рис. 7. Внешний вид фракции гранул размером менее 1 мм: а) состав №1; б) состав №3

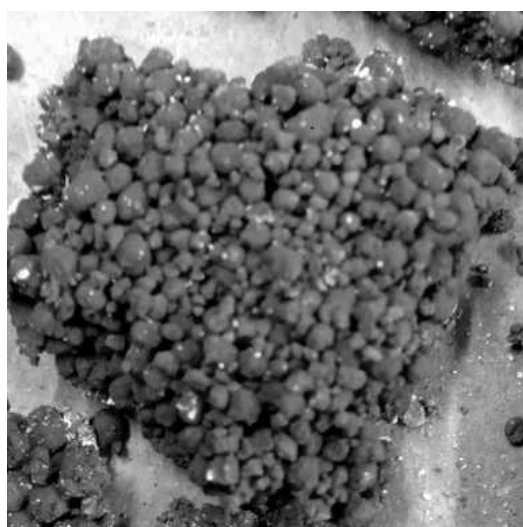


Рис. 8. Слипание уже сформованных гранул без опудривания

Выводы: Разработанные составы исследовали на получение порошково-пластическим методом формования, когда все операции приготовления полуфабрикатов происходят в одном агрегате – смеситель интенсивного действия.

Разработан способ поэтапного гранулирования порошковой глиняной массы. Сущность данного способа заключается в поэтапном ведении воды в керамическую массу при переменной скорости вращения ротора на каждом этапе увлажнения. Произведен подбор оптимальных параметров увлажнения и скорости ротора на стадиях гранулирования для глин местного региона.

Способ позволяет получать мелкие фракции на начальном этапе производства керамзита. Это дает возможность использовать технологию получения мелкофракционного керамзита (размер гранул 5 – 2 мм и 2 – 1 мм) в производстве без дробления крупных гранул, полученных по классическому пластическому методу формования. Изменение скорости вращения ротора гранулятора, позволяет формировать сферические гранулы различного размера. Применение опудривания гранул не дает возможности полуфабрикату

склеиваться между собой. Разрабатываемая технология формования гранул позволяет получать керамзит с выходом заданных мелких фракций в количестве – до 65 – 75 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rashad A.M. Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 170. Pp. 757-775. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.009
2. Mesrar H., Mesrar L., Touache A., Jabrane R. Manufacture of Clay Aggregate Doped with Pozzolan Destined for Lightweight Concrete // *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24(1). Pp. 349–359. DOI: 10.12911/22998993/156183
3. Rodrigues A.V., Bragança S.R. An evaluation of the increased expansion of clay aggregates fired at 1300 °C to maximize lightness for non-structural concrete // *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2023. Vol. 62(1). Pp. 56–65. DOI: 10.1016/j.bsecv.2021.11.003
4. Онацкий С.П. Производство керамзита. М.: Стройиздат, 1987. 333 с.
5. Ayati B., Ferrandiz-Mas V., Newport D., Cheeseman C. Use of clay in the manufacture of lightweight aggregate // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 162. Pp. 124-131. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.018
6. Cáceres J.R., Rojas J.P., Sánchez J. A review about the use of industrial by-products in the lightweight aggregates production of expanded clay // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1388 012011. DOI 10.1088/1742-6596/1388/1/012011
7. Vaickelionis G., Kantautas A., Vaičiukynienė D. Production of Expanded Clay Pellets by Using Non-selfbloating Clay, Lakes Sapropel and Glycerol // *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2011. Vol. 17(3). Pp. 314–321. DOI: 10.5755/j01.ms.17.3.600
8. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. М.: Стройиздат, 1974. 320 с.

9. Чумаченко Н.Г. Влияние состава расплава и не растворившегося остатка на свойства керамзитового гравия // Строительные материалы. 2013. № 1. С. 56–60.

10. Ozguven A., Gunduz L. Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate // Cement and Concrete Composites. 2012. Vol. 34(6). Pp. 781–787. DOI: doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.02.007

11. Каленов Е.М. Повышение качества керамзита. К.: Будівельник, 1984. 61 с.

12. Трепалин Д.В., Мишин Д.А., Трепалина Ю.Н., Ковалев С.В. Разработка технологии производства керамзитового гравия полусухим способом с использованием техногенных отходов и

малопластичного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. №3. С. 117–124. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-3-117-124

13. Виноградов Б.Н. Петрография искусственных пористых заполнителей. М.: Стройиздат, 1972. 136 с.

14. 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.

15. Круглицкий Н.Н. Основы физико-химической механики. Киев: Высшая школа. 1976. Т.3. 208 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.

Смагина Анна Романовна, магистр кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: smaginaa9@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 26.05.2024 г.

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

Trepalin D.V., Mishin D.A., Trepalina Yu.N., Kovalev S.V., Smagina A.R.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: smaginaa9@mail.ru*

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF FORMING FINE-FRACTION EXPANDED CLAY FROM LOW-PLASTIC RAW MATERIALS

Abstract. The current state of the economy poses the challenge for manufacturers to replace imported composite materials, as in the case of fine-grained expanded clay. The end of cooperation with Laterlite (Italy) and Liapor (Germany) to create a joint venture to produce modern wall materials and dry construction mixes based on their own production has launched research in this area. The compositions being developed from local clay deposits make it possible to obtain expanded clay gravel from low-plasticity raw materials and man-made waste. The development of granulation methods makes it possible to obtain small fractions from ceramic compositions at the initial stage of expanded clay production. This makes it possible to use the technology for obtaining fine-grained expanded clay (granule size less than 5 mm) without crushing large granules, as is done using the classic plastic molding method. Changing the rotation speed of the granulator rotor makes it possible to mold spherical granules of various sizes. The use of powdered granules prevents the semi-finished product from sticking together. The developed granule molding technology allows obtaining expanded clay of specified small fractions (1–2 mm and 2–5 mm) in a fairly large quantity – up to 60–70%.

Keywords: expanded clay gravel, molding methods, clay, chalk, rotor speed, mass moisture, powdering, fractional composition.

REFERENCES

1. Rashad A.M. Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 170. Pp. 757–775. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.009
2. Mesrar H., Mesrar L., Touache A., Jabrane R. Manufacture of Clay Aggregate Doped with Pozzolan Destined for Lightweight Concrete. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24(1). Pp. 349–359. DOI: 10.12911/22998993/156183
3. Rodrigues A.V., Bragança S.R. An evaluation of the increased expansion of clay aggregates fired at 1300 °C to maximize lightness for non-structural concrete. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2023. Vol. 62(1). Pp. 56–65. DOI: 10.1016/j.bsecv.2021.11.003
4. Onatsky S.P. Production of expanded clay [Proizvodstvo keramzita]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 333 p. (rus)
5. Ayati B., Ferrandiz-Mas V., Newport D., Cheeseman C. Use of clay in the manufacture of lightweight aggregate. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 162. Pp. 124–131. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.018
6. Cáceres J.R., Rojas J.P., Sánchez J. A review about the use of industrial by-products in the lightweight aggregates production of expanded clay. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1388. DOI 10.1088/1742-6596/1388/1/012011
7. Vaickelionis G., Kantautas A., Vaičiukynienė D. Production of Expanded Clay Pellets by Using Non-selfbloating Clay, Lakes Saproel and Glycerol. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2011. Vol. 17(3). Pp. 314–321. DOI: 10.5755/j01.ms.17.3.600
8. Rogovoy M.I. Technology of Artificial Porous Fillers and Ceramics [Tekhnologiya iskusstvennykh poristyykh zapolniteley i keramiki]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 320 p. (rus)
9. Chumachenko N.G. Effect of Melt Composition and Undissolved Residue on the Properties of Expanded Clay Gravel [Vliyaniye sostava rasplava i ne rastvorivshegosya ostatka na svoystva keramzitovogo graviya]. *Construction Materials*. 2013. No. 1. Pp. 56–60. (rus)
10. Ozguven A., Gunduz L. Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate. *Cement and Concrete Composites*. 2012. Vol. 34(6). Pp. 781–787. DOI: doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.02.007
11. Kalenov E.M. Improving the quality of expanded clay [Povysheniye kachestva keramzita]. K.: Budivelnik, 1984. 61 p. (rus)
12. Trepalin D.V., Mishin D.A., Trepalina Yu.N., Kovalev S.V. Development of technology for the production of expanded clay gravel by a semi-dry method using man-made waste and low-plasticity raw materials [Razrabotka tekhnologii proizvodstva keramzitovogo graviya polusuxim sposobom s ispolzovaniem texnogennykh otkodov i maloplastichnogo seryu] *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2025. No. 3. Pp. 117–124. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-3-117-124 (rus)
13. Vinogradov B.N. Petrography of Artificial Porous Fillers [Petrografiya iskusstvennykh poristyykh zapolniteley]. Moscow: Stroyizdat, 1972. 136 p.
14. Vasilenko T.A., Ali Saleh-Zhafer Application of Calcium-Containing Man-Made Materials in the Production of Expanded Clay Gravel [Primeniye kaltsiysoderzhashchikh 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. Pp. 106–113. (rus)
15. Kruglickiy N. N. Fundamentals of Physical and Chemical Mechanics [Osnovy fiziko-khimicheskoy mexaniki]. Kyiv: Higher School. 1976. Vol. 3. 208 p. (rus)

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 St., 46.

Mishin, Dmitry A. PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Cement and Composite Materials Technology. E-mail: mishinda.xtms@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova St., 46.

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

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

Smagina, Ann R. Master of the Department of Glass and Ceramics Technology. E-mail: smaginaa9@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 26.05.2024

Для цитирования:

Трепалин Д.В., Мишин Д.А., Трепалина Ю.Н., Ковалев С.В., Смагина А.Р. Оптимизация технологических параметров формования мелкофракционного керамзита из малопластичного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 9. С. 62–70. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-9-62-70

For citation:

Trepalin D.V., Mishin D.A., Trepalina Yu.N., Kovalev S.V., Smagina A.R. Optimization of technological parameters of forming fine-fraction expanded clay from low-plastic raw materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 9. Pp. 62–70. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-9-62-70