

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691.327:666.973.6

А.В. БОРЗЫХ, Д.И. КРЕМЕНЕЦКАЯ

ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОЛУЧЕНИЕ ПЕНОБЕТОНА ПОНИЖЕННОЙ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ

Рассмотрена возможность получения пенобетона пониженной средней плотности при использовании отходов керамзитового производства. В данном исследовании применена замена традиционного кварцевого заполнителя на керамзитовый. Согласно требованиям российских стандартов, подобраны и исследованы составы с различным расходом кремнеземистого заполнителя. Исследовано влияние соотношения кремнеземистого компонента к вяжущему веществу на среднюю плотность и предел прочности при сжатии ячеистого бетона, а также изучено влияние водотвердого отношения на среднюю плотность и прочность при сжатии. Показано влияние времени перемешивания пенобетонной смеси на качество получаемого композита. По итогу работы подобрана оптимальная рецептура пенобетона на основе керамзитового заполнителя с пониженной средней плотностью при сохранении прочностных показателей по сравнению с аналогичным материалом на основе кварцевого песка. Утилизация отходов керамзитового производства, а также разработка новых месторождений кварцевого песка являются глобальными проблемами экологической обстановки Сибирского региона. Рецептурно-технологические разработки исследования позволяют получать качественный теплоизоляционный материал с применением местных отходов производства керамзита.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ячеистый бетон, пенобетон, пониженная средняя плотность, теплоизоляционный материал, керамзитовый песок, кварцевый песок, цементная смесь, водотвердое отношение, прочность при сжатии, рецептура смеси.

DOI 10.32683/0536-1052-2020-734-2-5-15

При выборе ограждающих конструкций жилых и промышленных зданий преимущественно отдают предпочтение ячеистому бетону. Ячеистый бетон как искусственный камень с равномерно распределенными порами превосходит традиционные материалы с аналогичной структурой и физико-механическими свойствами. В условиях рыночной экономики благодаря универсальности ячеистого бетона повышается конкурентоспособность изделия среди материалов, схожих по назначению.

© Борзых А.В., Кременецкая Д.И., 2020

Выявлено, что ячеистые бетоны пониженной плотности могут быть эффективно использованы в качестве теплоизоляционных изделий. Но при технико-экономическом сравнении производства изделий из автоклавного ячеистого бетона со средней плотностью 600 кг/м^3 с производством изделий со средней плотностью 400 кг/м^3 можно говорить, что производство автоклавного ячеистого бетона со средней плотностью 600 кг/м^3 в ходе подготовки сырьевых материалов и автоклавной обработки требует меньше энергозатрат.

Производству ячеистых бетонов посвящены работы [1–12], где в значительной мере уделяется внимание получению бетонов пониженной плотности. Изготовление пенобетона как разновидности эффективного по теплофизическим параметрам ячеистого бетона – перспективное направление получения материала с качественной структурой и низким показателем средней плотности.

Определение наиболее эффективных путей развития технологии пенобетонов, а именно поиск новых видов кремнеземистых компонентов и способов порообразования, методов формования и условий вызревания ячеистобетонной смеси, является основной задачей теории и производства материала. Приоритетные направления в области технологии получения строительного материала из ячеистого бетона согласно [4, 7, 13–25] – повышение класса бетона с сохранением его пониженной плотности, а также вовлечение в производство новых видов тонкодисперсного заполнителя с возможностью переработки вторичного сырья без негативного влияния его применения на усадку и трещиностойкость готовых изделий. Таким образом, существует возможность использования отходов, получаемых при производстве керамзитового гравия в виде керамзитовых песков.

Разновидности ячеистого бетона, такие как пенобетон, пеногазобетон, газобетон с одинаковой средней плотностью, различаются по своим свойствам (физическим показателям, характеру пористости, теплотехническим показателям) и технологии изготовления. Влияние отходов керамзитового производства в составе пенобетонной смеси на текучесть шлама, время перемешивания и основные свойства пенобетона в настоящее время изучены недостаточно. В связи с этим возникает потребность установить влияние керамзитового компонента на основные свойства, а также на размер и характер пористости материала.

Практическая направленность работы заключается в разработке рецептурно-технологического решения, обеспечивающего получение пенобетона пониженной средней плотности на основе керамзитового песка.

В качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 32,5Н АО «Топкинский цемент», удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31108–2016. При производстве и определении возможности применения кремнеземистого компонента для получения ячеистобетонной смеси уделяется внимание гранулометрическому составу, удельной поверхности зерен и содержанию в составе примесей пылевидных, глинистых и других частиц. В табл. 1 представлен зерновой состав керамзитового песка в сравнении с кварцевым.

В исследовании использован кварцевый песок Китайлинского месторождения строительных песков Омской области и керамзитовый песок отходов производства Омского комбината строительных конструкций. Содержание

Таблица 1. Зерновой состав кварцевого и керамзитового песков, % по массе

Кремнеземистый компонент	Остаток на ситах	Остатки на ситах					Проход через сито с сеткой 0,14
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Кварцевый песок	Частный	3	6,5	13,5	24	35	14
	Полный	3	9,5	23	47	82	96
Керамзитовый песок	Частный	0	0	18,5	53,5	18	8,5
	Полный	0	0	18,5	72	90	98,5

крупных включений в кварцевом песке размером более 10 мм составляет 0,34 %, зерен размером от 5 до 10 мм – 1,98 % по массе, а полный остаток на сите 0,63 для мелкого песка – 23 % по массе, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736–2014. Керамзитовый песок не содержит частиц размером крупнее 0,63 мм, а содержание частиц размером 0,315 мм достигает 50–60 %. Результаты испытаний кремнеземистых компонентов приведены в виде средних величин физических свойств (табл. 2).

Таблица 2. Физические свойства кремнеземистых компонентов

Свойства	Керамзитовый песок	Кварцевый песок
Влажность при отборе проб, %	5,5	3,1
Модуль крупности	1,8	1,6
Содержание отмучиваемых примесей, %	–	3,5
Содержание органических примесей	–	Светлее эталона
Насыпная плотность, кг/м ³	930	1490
Истинная плотность, кг/м ³	2100	2610
Удельная поверхность, м ² /кг	210	106
Межзерновая пустотность, %	55,7	35,5

При использовании нестандартного сырья в качестве заполнителя важно иметь представление об изменениях структуры растворной фазы, связанной с воздействием характерных свойств вводимого материала, в отличие от фазы традиционной смеси. Отслеживание стадии поро- и структурообразования позволяет прогнозировать дефекты структуры исследуемого бетона.

Для достоверного исследования растворной фазы смеси сравнивались полученные свойства состава, приготовленного на основе кварцевого песка, а также составов с частичной и полной заменой керамзитовым песком. Подвижность раствора на кварцевом песке составила 12 см, начало схватывания – 110 мин, тогда как при полной замене керамзитовым песком подвижность составила 9 см, начало схватывания – 50 мин (при неизменном водотвердом отношении). Расход кремнеземистых компонентов и основные физико-механические показатели цементных композиций приведены в табл. 3.

Согласно полученным данным, при приготовлении пенобетонных смесей с частичной или полной заменой кварцевого песка керамзитовым воз-

Т а б л и ц а 3. Физико-механические показатели цементных растворов

Расход кремнеземистых компонентов, % (по объему)		Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
кварцевый песок	керамзитовый песок		
100	–	1930	45,3
70	30	1910	44,7
50	50	1820	46,1
30	70	1710	30,2
–	100	1670	21,1

Примечание. Данные приведены при одинаковом расходе портландцемента (равном 255 кг/м³) и водозатворении (В/Т = 0,43).

можно регулирование технологических показателей раствора. При увеличении доли керамзитового песка в смеси наблюдается снижение средней плотности бетона в среднем на 12 %. Наиболее оптимальным составом можно считать раствор с заменой кварцевого песка керамзитовым в количестве 50 % по объему, при котором средняя плотность на 100 кг/м³ ниже, а предел прочности при сжатии на 1 МПа выше по сравнению с раствором, приготовленным полностью на кварцевом песке (см. табл. 3).

Пористая структура пенобетона формируется в результате образования пор при введении устойчивой технической пены в кремнеземвяжущую смесь и нарастании на начальном этапе вязкопластичных свойств смеси. При формировании микро- и макроструктуры пенобетона необходимо соблюдать условие средней кратности применяемой пены и оптимальных характеристик смеси для поддержания композита в высокопористом состоянии и предотвращения самопроизвольного разрушения пенной структуры.

На получение бездефектного пенобетона влияет ряд факторов, основные из которых: расход кремнеземистых компонентов; соотношение кремнеземистого компонента к вяжущему веществу; текучесть и вязкость смеси; химический состав среды; интенсивность и порядок перемешивания компонентов смеси; расход пенообразователя и его значение кратности.

Для получения технической пены в качестве пенообразователей применены водные растворы поверхностно-активных веществ на основе СДО (ТУ-13-05-02-87). Приготовление пены: смешивание пенообразователя и воды в скоростном смесителе при оборотах 1200–1500 мин⁻¹ при нормальном атмосферном давлении в течение 6 мин. Технические характеристики используемого пенообразователя:

Количество воды на 1 м ³ пены	42 л
Расход пенообразователя	1,3 л/м ³
Кратность пены	10
Устойчивость	6 мин
Синерезис пены	17 мин

В результате были получены оптимальные величины кратности пены, равной 10 единицам, обеспечивающие относительно низкие показатели средней плотности пенобетона, осадки смеси и усадки композита [26].

В исследованиях для подбора оптимального отношения кремнеземистого компонента к вяжущему (С) применяются три соотношения: 0,75; 1; 1,25. Данные показатели регламентированы для бетонов неавтоклавного твердения на цементном вяжущем в инструкции СН 277–80.

Неудовлетворительные прочностные показатели на сжатие (при низкой средней плотности) достигнуты при $C = 1,25$. В момент порообразования наблюдалось выраженное явление коалесценции и расслоения пенобетонной смеси из-за ее неспособности набрать достаточную пластическую прочность. Оптимальное соотношение кремнеземистого компонента к вяжущему достигается при $C = 1$, при котором средняя плотность равна 562 кг/м^3 , а прочность при сжатии $1,65 \text{ МПа}$. При $C = 0,75$ наблюдается значительное увеличение прочности пенобетона, но высокий расход портландцемента ведет к увеличению важной для пористых изделий характеристики – средней плотности (рис. 1).

При получении пористых строительных материалов на минеральной основе важно учитывать влияние текучести кремнеземвяжущего компонента. При повышении показателя текучести наблюдается снижение вязкости смеси, объема пены, расслоения смеси и увеличение сроков схватывания. При уменьшении показателя возможно повышение вязкости смеси, в результате может наблюдаться нехватка в системе воды затворения, что приводит к разрушению пористой структуры композита. В обоих случаях это повышает среднюю плотность материала. Для изучения влияния показателя текучести смеси на среднюю плотность пенобетона на основе керамзитового песка важно определить зависимость текучести от водотвердого отношения.

При водотвердом отношении (В/Т) равном 0,37; 0,4; 0,43 и 0,46 диаметр расплыва пенобетонной смеси на основе керамзитового песка по прибору Сутгарда составил соответственно 150; 250; 330 и 400 мм ± 10 мм (рис. 2).

Оптимальное В/Т пенобетона, приготовленного на основе керамзитового песка, находится в пределах 0,42–0,45 (рис. 3). Наименьшая средняя плот-

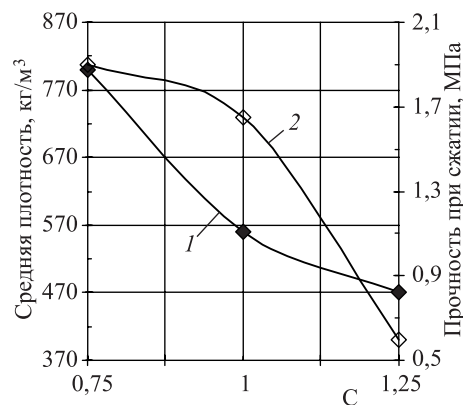


Рис. 1. Зависимость средней плотности и прочности пенобетона от соотношения кремнеземистого компонента к вяжущему

1 – средняя плотность; 2 – прочность

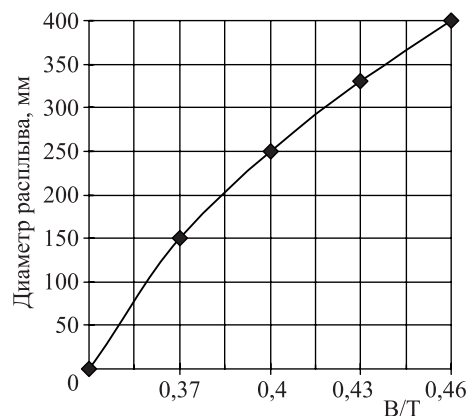


Рис. 2. Влияние водотвердого отношения на текучесть пенобетонной смеси

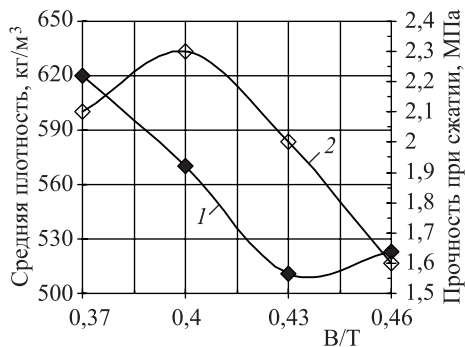


Рис. 3. Зависимость средней плотности и прочности пенобетона от водотвердого отношения

1 – средняя плотность; 2 – прочность

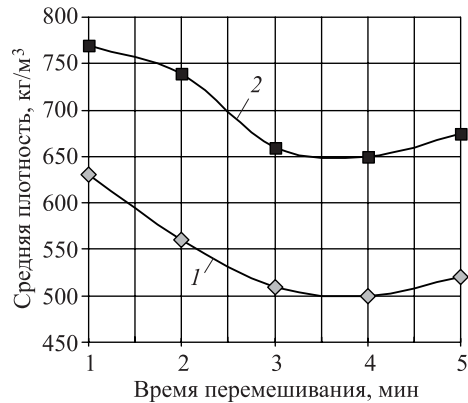


Рис. 4. Влияние времени приготовления пенобетонной смеси на среднюю плотность

1 – средняя плотность пенобетона; 2 – средняя плотность пенобетонной массы

ность равная 511 кг/м^3 достигается при $В/Т = 0,43$, которому соответствует диаметр расплыва смеси $330 \pm 10 \text{ мм}$, при этом не происходит осадки пенобетонной смеси в момент ее вызревания, а в пенобетоне, при визуальном осмотре, образуются поры правильной шаровидной формы.

При снижении $В/Т$ до $0,37$ значительно увеличивается средняя плотность пенобетона (до 620 кг/м^3) и незначительно снижаются прочностные показатели по сравнению с $В/Т = 0,4$. Это явление можно объяснить тем, что из-за нехватки воды затворения в системе происходит ее отсос из межпузырьковых перегородок пенной структуры (для более полной гидратации цемента), приводящий к разрушению технической пены и эффекту коалесценции, увеличению плотности и некоторому снижению прочности.

При $В/Т = 0,46$, наоборот, избыток жидкой фазы в течение всего времени предварительной выдержки вызывает расслоение пенобетонной массы, самопроизвольное разрушение пенной структуры и замедленный набор пластической прочности, что также приводит к некоторому увеличению средней плотности и снижению предела прочности при сжатии до $1,6 \text{ МПа}$.

Оптимальное время перемешивания кремнеземвяжущей смеси с технически устойчивой пеной составляет $3\text{--}4 \text{ мин}$, при этом средняя плотность пенобетона равна $500\text{--}510 \text{ кг/м}^3$ (рис. 4).

При уменьшении или увеличении времени перемешивания происходит увеличение средней плотности массы и пенобетона соответственно на $13\text{--}16$ и $11\text{--}22 \%$. В первом случае за счет недостаточного времени перемешивания пенобетонной смеси техническая пена неравномерно распределяется по объему в растворной смеси, что приводит к расслоению пенобетонной смеси и получению неоднородной структуры ячеистого бетона по сечению. Во втором, наоборот, длительное перемешивание поризованной массы более 4 мин вызывает частичное разрушение технической пены.

Заключение. При увеличении доли керамзитового песка в цементном растворе происходит снижение плотности в среднем на 12% . Оптимальное количество керамзитового песка в цементно-песчаной смеси равно 50% по

объему, при котором получен раствор со средней плотностью 1820 кг/м³ и прочностью при сжатии 46,1 МПа. Для приготовления цементно-песчаного каркаса пенобетонной смеси возможна частичная или полная замена кварцевого песка керамзитовым.

Для получения средней плотности пенобетона на основе керамзитового песка от 500 до 510 кг/м³ с прочностью на 20 % выше прочностных показателей на основе кварцевого песка необходимо, чтобы расход кварцевого и керамзитового песков составлял 1:1 по объему, диаметр распыла смеси по Суттарду был равен 330 ±10 мм, время перемешивания растворной смеси с технически устойчивой пеной для предотвращения расслаивания и получения однородного материала составляло около 3–4 мин.

Применение керамзитового песка при соблюдении рецептуры и количественного состава сырьевых компонентов позволяет получить пенобетон с пониженной плотностью и оптимальными прочностными характеристиками изделия, что дает возможность использовать тонкодисперсные отходы, образующиеся при производстве керамзитового гравия, и существенно снизить себестоимость получаемого изделия.

Авторы выражают благодарность кандидату технических наук, доценту кафедры «СМиСТ» Дерябину Павлу Павловичу и кандидату технических наук, доценту кафедры «СМиСТ» СибАДИ Галдиной Вере Дмитриевне за постановку, обработку экспериментальной части и ценные замечания по подготовке статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дерябин П.П. Теория и технология строительных изделий из ячеистых бетонов: Моногр. Омск: Изд-во СибАДИ, 2015. 275 с.
2. Derjabin P.P., Chulkova I.L., Raschupkina M.A., Danilina Yu.S. Porous structure formation of aerated concrete with variational properties // International Scientific Conference «FarEastCon – 2018». Switzerland: Trans Tech Publications, 2019. P. 233–237.
3. Fang Xian Li, You Zhi Chen, Qi Jun Yu, Jiang Xiong Wei. Utilization of desulfuration residues in non-autoclaved aerated concrete // Advanced Building Materials: Switzerland: Trans Tech Publications, 2011. P. 707–710.
4. Моргунов В.Н., Моргунов Л.В. Обоснование одного из методов совершенствования структуры пенобетонов // Строительные материалы. 2018. № 5. С. 24–26.
5. Бартењева Е.А., Машкин Н.А. Исследование свойств модифицированного пенобетона // Строительные материалы. 2017. № 10. С. 36–40.
6. Дерябин П.П. Получение ячеистого бетона форсированным способом порообразования // Техника и технологии строительства. Омск: Изд-во СибАДИ, 2018. № 1. С. 31–35.
7. Федорова Н.К., Буланов А.С. Технология приготовления пенобетонов на основе пенообразователя «Синтепор» // Строительные материалы. 2005. № 1. С. 30–31.
8. Hebel. Technical Handbook // Ptyltd ACN 003.392.621.1992. Australia: CSR Hebel. Edition 5. 220 p.
9. Laukaitis A. Influence of technological factors on porous concrete formation mixture and product properties // Summary of the research report presented for habilitation. Kaunas: University of Technology, 1999. 70 p.

10. Завадский В.Ф., Саунина О.В. Рецептурно-технологические способы снижения плотности ячеистых бетонов // Дорожно-транспортный комплекс, экономика, экология, строительство и архитектура: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. Кн. 2. С. 183–184.
11. Панова В.Ф. Строительные материалы на основе промышленных отходов Кузбасса. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2005. 182 с.
12. Завадский В.Ф., Косач А.Ф., Дерябин П.П. Стеновые материалы и изделия. Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. 254 с.
13. Леонович С.Н., Свиридов Д.В., Беланович А.Л., Карпушенкова Л.С., Карпушенков С.А. Пористый керамический материал на основе глины и отходов производства гранитного щебня // Строительные материалы. 2019. № 5. С. 45–50.
14. Давидюк А.А., Фискинд Е.С., Гусарь О.А., Балакирева В.В. Преимущества в производстве и применении блоков из ячеистого бетона // Строительные материалы. 2018. № 12. С. 41–43.
15. Славчева Г.С., Макарова Т.В. Пенобетоны для теплоизоляционных слоев наружных стен, возводимых методом 3D-печати // Строительные материалы. 2018. № 10. С. 30–35.
16. Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Шевченко В.В., Фомина О.А., Дружинин М.С. Исследования структуры и свойств ячеистых керамических материалов с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород // Строительные материалы. 2017. № 12. С. 7–13.
17. Дерябин П.П., Ращупкина М.А. Ячеистые бетоны. Омск: Изд-во СибАДИ, 2018.
18. Чулкова И.Л., Дерябин П.П., Ращупкина М.А. Использование местных техногенных материалов для производства строительных композитов в соответствии с законом сродства структур // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство (ОТИС 2018): Сб. науч. тр. нац. науч.-практ. конф. Омск: Изд-во СибАДИ, 2018. С. 467–471.
19. Завадский В.Ф. Варианты стеновых конструкций с применением эффективных утеплителей. Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 2001. 52 с.
20. Сахаров Г.П. Теоретические предпосылки создания неавтоклавно поробетона повышенной прочности по энергосберегающей технологии // Изв. вузов. Строительство. 2004. № 7. С. 51–54.
21. Величко Е.Г., Комар А.Г. Рецептурно-технологические проблемы пенобетона // Строительные материалы. 2004. № 3. С. 26–29.
22. Ефименко А.З. Неавтоклавно газобетон на песке из отходов дробления бетона // Строительные материалы. 2009. № 1. С. 13.
23. Гудков Ю.В., Ахундов А.А. Стеновые материалы на основе ячеистых бетонов // Строительные материалы. 2004. № 1. С. 9–10.
24. Ахметгареева А.К., Никонов В.А., Разумова Г.Ф. Пенообразователь для получения пенобетонов неавтоклавно твердения // Строительные материалы. 2003. № 10. С. 18.
25. Иванов И.А., Жмыхов В.М. Оценка свойств синтетических пенообразователей для пенобетона // Строительные материалы. 2007. № 7. С. 33–34.
26. Кременецкая Д.И. Comparative analysis using of wood waste for the manufacture of products in russia and the united states // Актуальные вопросы современности глазами молодых исследователей: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. Омск: Изд-во СибАДИ, 2019. С. 416–419.

Борзых Анна Вячеславовна, студ.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск

Кременецкая Дарья Игоревна, студ.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),
г. Омск

Получено после доработки 13.01.2020

Borzykh Anna Vyacheslavovna, Student

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Kremenetskaya Dariya Igorevna, Student

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

INFLUENCE OF RECIPE AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON OBTAINING FOAM CONCRETE OF REDUCED OVERAGE DENSITY

The possibility of obtaining foam concrete with a reduced average density, using expanded clay waste products and the replacement of traditional quartz aggregate with expanded clay are considered in this study. Compositions with various silicafiller consumption were selected and investigated according to the requirements of Russian standards. The effect of the siliceous component ratio to the binder on the average density and tensile strength during compression of cellular concrete was studied. The effect of the water-hard ratio on the average density and compression strength was also presented. The mixing time influence of the foam concrete mixture on the obtained composite quality is shown. According to the work results, the optimal formulation of foam concrete, based on expanded clay aggregate with a reduced average density was selected while maintaining strength characteristics compared to similar material based on quartz sand. Utilization of expanded clay production wastes as well as the development of new deposits of quartz sand is global environmental problems in the Siberian region. Prescription and technological development of the study allows obtaining high-quality heatinsulating material with the local waste production use of expanded clay.

Key words: cellular concrete, foam concrete, lower average density, insulating material, expanded clay sand, quartz sand, cement mixture, water-solid ratio, compressive strength, mixture formulation.

REFERENCES

1. Deryabin P.P. Teoriya i tekhnologiya stroitel'nykh izdeliy iz yacheistykh betonov [Theory and technology of building products from cellular concrete]. Omsk, SibADI, 2015. 275 p. (in Russian)
2. Deryabin P.P., Chulkova I.L., Raschupkina M.A., Danilina Yu.S. Porous structure formation of aerated concrete with variational properties. International Scientific Conference «FarEastCon – 2018». Switzerland: Trans Tech Publications, 2019. P. 233–237.
3. Fang Xian Li, You Zhi Chen, Qi Jun Yu, Jiang Xiong Wei. Utilization of desulfuration residues in non-autoclaved aerated concrete, Advanced Building Materials, Switzerland: Trans Tech Publications, 2011. Pp. 707–710.
4. Morgun V.N., Morgun L.V. Obosnovanie odnogo iz metodov sovershenstvovaniya struktury penobetonov [Justification of one of the improving methods of foam concrete structure]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2018. No. 5. Pp. 24–26. (in Russian)
5. Barteneva E.A., Mashkin N.A. Issledovanie svoystv modifitsirovannogo penobetona [The study of the modified foam concrete properties]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2017. No. 10. Pp. 36–40. (in Russian)

6. Deryabin P.P. Poluchenie yacheistogo betona forsirovannym sposobom poroobrazovaniya [Obtaining cellular concrete by the forced method of pore formation]. *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva* [Technique and construction technology]. Omsk, SibADI, 2018. No. 1. Pp. 31–35. (in Russian)
7. Fedorova N.K., Bulanov A.S. Tekhnologiya prigotovleniya penobetonov na osnove penoporoobrazovatelya «Sintepor» [The technology for the preparation of foam concrete based on the Sintepor foaming agent]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2005. No. 1. Pp. 30–31. (in Russian)
8. Hebel. Technical Handbook. Ptyltd ACN 003.392.621.1992.CSR Hebel, Australia, edition 5. 220 p.
9. Laukaitis A. Influence of technological factors on porous concrete formation mixture and product properties. Summary of the research report presented for habilitation. Kaunas University of Technology, 1999. 70 p.
10. Zavadskiy V.F., Saunina O.V. Retsepturno-tekhnologicheskie sposoby snizheniya plotnosti yacheistykh betonov [Prescription and technological methods for reducing the density of cellular concrete]. *Dorozhno-transportnyy kompleks, ekonomika, ekologiya, stroitel'stvo i arkhitektura* [Road transport complex, economics, ecology, construction and architecture: Materials of the Intern. scientific-practical conf.]. Omsk, SibADI, 2003. Vol. 2. Pp. 183–184. (in Russian)
11. Panova V.F. Stroitel'nye materialy na osnove promyshlennykh otkhodov Kuzbassa [Building materials, based on industrial waste of Kuzbass]. Novokuznetsk, SibGIU, 2005. 182 p. (in Russian)
12. Zavadskiy V.F., Kosach A.F., Deryabin P.P. Stenovye materialy i izdeliya [Wall materials and products]. Omsk, SibADI, 2005. 254 p. (in Russian)
13. Leonovich S.N., Sviridov D.V., Belanovich A.L., Karpushenkova L.S., Karpushenkov S.A. Poristy keramicheskiy material na osnove gliny i otkhodov proizvodstva granitnogo shchebnya [Porous ceramic material, based on clay and granite crushed stone production waste]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2019. No. 5. Pp. 45–50. (in Russian)
14. Davidiyuk A.A., Fiskind E.S., Gusar' O.A., Balakireva V.V. Preimushchestva v proizvodstve i primeneni blokov iz yacheistogo betona [Advantages in the production and use of cellular concrete blocks]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2018. No. 12. Pp. 41–43. (in Russian)
15. Slavcheva G.S., Makarova T.V. Penobeton dlya teploizolyatsionnykh sloev naruzhnykh sten, vozvodimyykh metodom 3D-pechati [Foam concrete for heat-insulating layers of external walls erected by 3D printing]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2018. No. 10. Pp. 30–35. (in Russian)
16. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Shevchenko V.V., Fomina O.A., Druzhinin M.S. Issledovaniya struktury i svoystv yacheistykh keramicheskikh materialov s karkasom iz dispersnykh kremnezemsoderzhashchikh porod [Studies of the structure and properties of cellular ceramic materials with a framework of dispersed silica-containing rocks]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2017. No. 12. Pp. 7–13. (in Russian)
17. Deryabin P.P., Rashchupkina M.A. Yacheistyye betony [Aerated concrete]. Omsk, SibADI, 2018. (in Russian)
18. Chulkova I.L., Deryabin P.P., Rashchupkina M.A. Ispol'zovanie mestnykh tekhnogennykh materialov dlya proizvodstva stroitel'nykh kompozitov v sootvetstvii s zakonom srodstva struktur [The use of local technogenic materials for the building composites production in accordance with the law of structures' affinity]. *Obrazovanie. Transport. Innovatsii. Stroitel'stvo* [Education. Transport. Innovation Construction (OTIS 2018): Sat scientific tr nat. scientific-practical conf.]. Omsk, SibADI, 2018. Pp. 467–471. (in Russian)

19. Zavadskiy V.F. Varianty stenovykh konstruktsiy s primeneniem effektivnykh utepliteley [Variants of wall structures using effective heaters]. Novosibirsk, NGASU, 2001. 52 p. (in Russian)
20. Sakharov G.P. Teoreticheskie predposylki sozdaniya neavtoklavnogo porobetona povyshennoy prochnosti po energosberegayushchey tekhnologii [Theoretical prerequisites for the creation of non-autoclaved expanded concrete with increased strength by energy-saving technology]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2004. No. 7. Pp. 51–54. (in Russian)
21. Velichko E.G., Komar A.G. Retsepturno-tekhnologicheskie problemy penobetona [Prescription and technological problems of foam concrete]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2004. No. 3. Pp. 26–29. (in Russian)
22. Efimenko A.Z. Neavtoklavnyy gazobeton na peske iz otkhodov drobleniya betona [Non-autoclaved aerated concrete on sand from concrete crushing waste]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2009. No. 1. P. 13. (in Russian)
23. Gudkov Yu.V., Akhundov A.A. Stenovye materialy na osnove yacheistykh betonov [Wall materials based on cellular concrete]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2004. No. 1. Pp. 9–10. (in Russian)
24. Akhmetgareeva A.K., Nikonov V.A., Razumova G.F. Penobrazovatel' dlya polucheniya penobetonov neavtoklavnogo tverdeniya [Foaming agent for non-autoclaved foam concrete production]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2003. No. 10. P. 18. (in Russian)
25. Ivanov I.A., Zhmykhov V.M. Otsenka svoystv sinteticheskikh penobrazovateley dlya penobetona [Properties evaluation of synthetic foaming agents for foam concrete]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2007. No. 7. Pp. 33–34. (in Russian)
26. Kremenskaya D.I. Comparative analysis using of wood waste for the manufacture of products in russia and the united states. Aktual'nye voprosy sovremennosti glazami molodykh issledovateley: Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Comparative analysis, using of wood waste for the products manufacture in Russia and the United States]. Omsk, SibADI, 2019. Pp. 416–419. (in Russian)