

УДК 552.52: 553:691

DOI: 10.46698/VNC.2023.89.94.013

Оригинальная статья

Теплоизоляционный пенобетон безавтоклавного твердения из местного нерудного минерального сырья

Б.Д. Тотурбиев¹, С.А. Мамаев¹, У.Д. Тотурбиева²

¹Институт геологии Дагестанского Федерального исследовательского центра РАН, Россия, 367030, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeogis@mail.ru;

²Дагестанский государственный технический университет, Россия, 367030, г. Махачкала, пр-т И. Шамиля, 65, e-mail: totbat@mail.ru

Статья поступила: 01.06.2023, доработана: 12.08.2023, принята в печать: 18.08.2023

Резюме: Актуальность работы. Одним из приоритетных направлений повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий и сооружений является использование теплоизоляционных изделий из ячеистого бетона. В этой связи пенобетон, получаемый по энергосберегающим технологиям и характеризующийся низкой плотностью, теплопроводностью и высокими эксплуатационными свойствами (прочностью, водостойкостью и т.д.), весьма актуален и перспективен. **Цель работы** обоснование возможности получения теплоизоляционного материала ячеистой структуры – пенобетона безавтоклавного твердения с использованием в качестве основы тонкомолотой бентонитовой глины и связующих веществ: портландцемента, коллоидного нанодисперсного полисиликата натрия с силикатным модулем 6,5 и модификатора «ДС-35» (патент) с применением пены на основе пенообразователя – алкилсульфатов с плотностью 1,0–1,2 г/см³. **Методика исследований.** Для получения достоверных данных при исследовании свойств и технологических параметров компонентов смеси, и на их основе теплоизоляционного материала, были применены современные методы испытаний для определения физико-механических характеристик, регламентируемые соответствующими ГОСТами. Комплексные физико-химические исследования проведены рентгенографическим, дифференциально-термическим и петрографическим анализами нерудного минерального сырья. **Результаты работы.** Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали возможность получения по энергосберегающей технологии теплоизоляционного пенобетона безавтоклавного твердения, характеризующегося высокими эксплуатационными свойствами, позволяющими повысить энергоэффективность ограждающих конструкций зданий и сооружений. Установлен оптимальный состав для изготовления теплоизоляционного пенобетона, который содержит в мас. %: цемент 24,45–27,85; тонкомолотую бентонитовую глину 24,45–27,85 и с удельной поверхностью 2500–3000 см²/г; коллоидные нанодисперсные полисиликаты натрия 2–4; модификатор «ДС-35» 0,43–0,49; пенообразователь 0,30–0,75; воду 42,97–44,46. Разработан способ изготовления теплоизоляционного пенобетона из вышеуказанного состава.

Ключевые слова: нерудное минеральное сырье, бентонитовые глины, теплоизоляционные материалы, пенобетон, нанодисперсные полисиликаты натрия, добавки, безавтоклавное твердение.

Для цитирования: Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиева У.Д. Теплоизоляционный пенобетон безавтоклавного твердения из местного нерудного минерального сырья. *Геология и геофизика Юга России*. 2023. 13(3): 169–179. DOI: 10.46698/VNC.2023.89.94.013.

DOI: 10.46698/VNC.2023.89.94.013

Original paper

Heat-Insulating foam concrete without autoclave hardening from local non-metal mineral raw

B.D. Toturbiev¹, S.A. Mamaev¹, U.D. Toturbiev²

¹Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
75 Yaragskiy Str., Makhachkala 367010, Russian Federation,
e-mail: dangeogis@mail.ru;

²Dagestan State Technical University,
65 I. Shamil Avenue, Makhachkala 367030, Russian Federation,
e-mail: totbat@mail.ru

Received: 01.06.2023, revised: 12.08.2023, accepted: 18.08.2023

Abstract: Relevance: One of the priority areas for improving the energy efficiency of the enclosing structures of buildings and structures is the use of heat-insulating products made of cellular concrete. In this regard, foam concrete produced by energy-saving technologies and characterized by low density, thermal conductivity and high performance properties (strength, water resistance, etc.) is very relevant and promising. **The aim** of the work is to substantiate the possibility of obtaining a heat-insulating material of a cellular structure – foam concrete without autoclave hardening using finely ground bentonite clay and binders as a base: Portland cement, colloidal nanodispersed sodium polysilicate with a silicate module of 6.5 and modifier “DS-35” (patent) using foam based on a foaming agent – alkyl sulfates with a density of 1.0-1.2 g/cm³. **Methods.** To obtain reliable data in the study of the properties and technological parameters of the components of the mixture, and on their basis of the heat-insulating material, modern methods of testing the physical and mechanical characteristics, regulated by the relevant GOSTs, were applied. Comprehensive physical and chemical studies were carried out by X-ray, differential thermal and petrographic analyzes of non-metallic mineral raw materials. To perform complex physical and chemical studies, X-ray, differential thermal and petrographic analyzes of non-metallic mineral raw materials were carried out. **Results.** Conducted theoretical and experimental studies have shown the possibility of obtaining heat-insulating foam concrete without autoclave hardening using energy-saving technology, which is characterized by high performance properties, which make it possible to increase the energy efficiency of building envelopes and structures. The optimal compositions for the manufacture of heat-insulating foam concrete, which contain wt. %: cement 24.45-27.85; finely ground bentonite clay 24.45-27.85 and with a specific surface area of 2500-3000 cm²/g; colloidal nanodispersed sodium polysilicates 2-4; modifier “DS-35” 0.43-0.49; foaming agent 0.30-0.75; water 42.97-44.46. A method for manufacturing heat-insulating foam concrete from the above composition has been developed.

Key words: non-metallic mineral raw materials, bentonite clays, heat-insulating materials, foam concrete, nanodispersed sodium polysilicates, additives, autoclave-free hardening.

For citation: Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbieva U.D. Heat-insulating foam concrete of non-autoclave hardening from local non-metallic mineral raw materials. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2023. 13(3): 169-179. DOI: 10.46698/VNC.2023.89.94.013.

Введение

В настоящее время одним из приоритетных направлений повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий и сооружений является использование теплоизоляционных изделий из ячеистого бетона [Зарубина, 2012; Камзолов и др., 2010; Вишневский и др., 2013, 2015; Кузнецова и др., 2016; Valor, 1954].

Исследования показали, что среди многообразия теплоизоляционных материалов весьма перспективными и актуальными являются ячеистые бетоны безавтоклавного твердения, а именно пенобетон, получаемый по энергосберегающим технологиям и характеризующийся низкой плотностью и теплопроводностью при этом высокими эксплуатационными свойствами (прочностью, водостойкостью и т.д.) [Сулейманова, 2010; Чистов, Краснов, 2010; Михеенков, 2008; Коломацкий, 2002; Ахундов, Удачкин, 2002; Amran et al., 2015; Huang, 2013; Liu et al., 2013; Mydin et al., 2010; Ramamoorthy et al., 2009].

В этой связи в Институте геологии ДФИЦ РАН теоретически и экспериментально обоснована возможность получения на основе нерудного и техногенного сырья, и нанодисперсных полисиликатов натрия строительных материалов нового поколения различного функционального назначения по инновационной, наукоемкой, энерго-ресурсосберегающей, экологически чистой технологии [Тотурбиев и др., 2020, 2022] и получен патент РФ (Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Юсупов А.Р. Состав и способ изготовления теплоизоляционного бетона. Патент на изобретение 2759255 С2, 11.11.2021. Заявка № 2018120061 от 30.05.2018).

С целью комплексного использования ресурсов нерудного сырья созданы научные основы получения коллоидного нанодисперсного полисиликата натрия и на его основе композиционные вяжущие вещества различного функционального назначения.

Определилось новое научное направление по получению нанодисперсных полисиликатных систем, обладающих уникальными связующими свойствами, обеспечивающие комплексное применение нерудного сырья и отходов производства в композициях с различным целевым назначением.

Таким образом, опираясь на ранее полученные результаты предыдущих исследований, намечается перспективность и актуальность проведения дальнейших научных исследований в этом направлении.

Для достижения поставленной цели исследований были решены следующие задачи:

- изучен и обоснован выбор местного нерудного сырья, связующих веществ, добавки пенообразователя для их совместного физико-химического соединения, а также поризации при получении пенобетонной теплоизоляционной композиции;
- научное обоснование возможных физико-химических процессов, происходящих при твердении пенобетонной теплоизоляционной композиции;
- оптимизация составов и разработка способа получения пенобетонной теплоизоляционной композиции;
- исследование физико-технических свойств разработанного теплоизоляционного пенобетона и проведение опытно-промышленного испытания.

Методика исследований

В работе для получения достоверных данных при исследовании свойств и технологических параметров компонентов смеси, и на их основе теплоизоляционного материала, были применены современные методы испытаний для определения физико-механических характеристик, регламентируемые соответствующими ГОСТами. Комплексные физико-химические исследования проведены рентгенографическим, дифференциально-термическим и петрографическим анализами нерудного минерального сырья. Одним из объектов исследований, разрабатываемого состава те-

плоизоляционного пенобетона ячеистой структуры, является местное нерудное минеральное сырье – бентонитовая глина, результаты определения химического и минералогического составов которой приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 / Table 1

**Химический состав исследуемой бентонитовой глины /
The chemical composition of the studied bentoth clay**

Химический состав, массовая доля % / Chemical composition, mass fraction %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п
51,0	23,25	7,2	0,99	3,31	2,75	4,06	10

Таблица 2 / Table 2

**Минералогический состав исследуемой бентонитовой глины /
Mineralogical composition of the studied bentonite clay**

Содержания минералов, % / Mineral content, %			
Кварц / Quartz	Монтмориллонит / Montmorillonite	Гидрослюда / Hydromica	Каолинит / Kaolinite
3±1	82±7	6±2	7±2

Как видно из таблицы, в изучаемой нами бентонитовой глине главным слагающим минералом является монтмориллонит. Монтмориллонит – широко распространённый глинистый минерал из группы смектитов подкласса слоистых силикатов. Каолинит, гидрослюда и кварц в исследуемом образце находятся в подчиненном состоянии.

Эти глины широко применяются в сферах строительной индустрии, так как они не токсичны, обладают гидрофильностью и достаточной химической стойкостью.

Применяемые в качестве связующего и добавки коллоидные нанодисперсные полисиликаты натрия классифицируются как наноматериалы и представляют переходную область составов от жидких стекол к кремнезолям.

Основной полимерной составляющей полисиликатов является его структурный элемент-кремнекислородный тетраэдр.

Главным отличием полисиликатов от водных растворов силикатов является их полимерная форма, размеры кремнеземистых частиц от 4 до 5 нм, которые составляют 60% и более от общего содержания кремнезема. Это в свою очередь обеспечивает высокие прочностные свойства образующихся гелевых структур. По сравнению с водными растворами силикатов натрия эффективность полисиликатов натрия в 4 раза выше, что позволяет использовать технологические растворы с более низкой концентрацией.

Для получения пенобетона ячеистой структуры высокой прочности и очень низкой водопоглощающей способности, в состав разрабатываемого теплоизоляционного пенобетона вводится модификатор «ДС-35», который представляет водную дисперсию винилацетат акрилового сополимера с низковязкой средой без содержания растворителей и пластификаторов, полученный путем полимеризации мономер-

ров в жидкой фазе с определенной рецептурой. Физико-химические характеристики данного модификатора приведены в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

**Физические и химические характеристики модификатора «ДС-35» /
Physical and chemical characteristics of the modifier “DS-35”**

Внешний вид / Appearance	Молочно-белая жидкость / milky white liquid
Массовая доля сухого вещества, % / Mass fraction of dry matter, %	47
рН	10,7
Цвет / Color	Белый/кремовый цвет / White/cream color
Размер частиц, мкм / Particle size, μm	0,04-0,1
Плотность, г/см ³ / Density, g/cm ³	1,04
Молекулярный вес / Molecular weight	Смесь – ? / mixture
Точка кипения / Boiling point	100°C
Точка плавления/область / Melting point/area	Приблизительно 0°C / Approximately 0°C
Растворимость в воде / Solubility in water	Смешивается / mixed up
Вязкость при 25°C, мПа·с / Viscosity at 25°C, mPa/s	1,200–2,000 мПа·с / 1,200-2,000 mPa/s
Минимальная температура пленкообразования, °C / Minimum film formation temperature, °C	-5°C
Химическая стабильность / Chemical stability	Продукт химически стабилен / The product is chemically stable

Результаты работы и их обсуждение

В процессе теоретических и экспериментальных исследований с использованием математического планирования эксперимента был оптимизирован состав теплоизоляционного пенобетона, который содержит в мас. %: цемент 24,45–27,85; тонкомолотую бентонитовую глину 24,45–27,85; коллоидные нанодисперсные полисиликаты натрия 2–4; модификатор «ДС-35» 0,43–0,49; пенообразователь 0,30–0,75; воду 42,97–44,46.

В нашем исследовании возможность такого сочетания вышеуказанных составляющих при получении теплоизоляционной композиции объясняется следующими научными предпосылками:

- применяемые в наших исследованиях бентонитовые глины обладают практически всеми свойствами природных наноразмерных частиц, так как они относятся к монтмориллонитовой группе (сметиты), следовательно, активно взаимодействуют с другими компонентами смеси, тем самым способствуют получению теплоизоляционного пенобетона с высокими показателями свойств.

- нанодисперсные частицы коллоидного полисиликата натрия активно вступающая в реакцию со свободной известью, имеющейся в портландцементе, образуют водонерастворимые силикаты кальция, что повышает прочность цементного камня. Возможно также образование подобных соединений, со свободными оксидами, имеющимися в бентонитовой глине. Кроме того, образующиеся гелевые структуры полисиликатов натрия, имеют высокие прочностные свойства за счет их полимерной формы, которая составляет более 60 % от общего содержания кремнезема.

- с введением в композицию теплоизоляционного пенобетона добавки- модификатора «ДС-35», акриловый сополимер, имеющийся в нем, вступает в реакцию с химически связанной водой, содержащейся в минералах бентонитовой глины, и образует химически стойкие и прочные соединения, придающие глине более высокую плотность, с образованием первично структурного каркаса из двойных солей и гидратов и гидроксо солей. При этом способствует возрастанию кристаллов гидросиликатов кальция, тем самым созданию камнеподобного материала очень высокой прочности, и низкой водопоглощающей способности.

Исходя из такого сочетания вышеуказанных составляющих для получения теплоизоляционной композиции, была изготовлена серия образцов размерами 10x10x10 см из предлагаемых оптимальных составов.

Для этого в первую очередь согласно пат. РФ 2124475 (пример 1), в лабораторных условиях были изготовлены образцы из полисиликатов натрия с силикатным модулем 6,5, полученных путем введения в 20%-ный водный раствор силиката натрия 16%-го гидрозоль диоксида кремния при их соотношении 1:1,5, с последовательным перемешиванием при 95°C, в течение 1,5 ч и с последующей выдержкой 0,5 ч, до образования коллоидного нанодисперсного полисиликата натрия.

В смеситель принудительного перемешивания засыпали отдозированные сухие тонкомолотые компоненты соответствующего состава (табл. 4), состоящие из портландцемента М 400 и тонкомолотой бентонитовой глины удельной поверхностью 2500–3000 см²/г и производили совместное сухое смешивание в течение 3–4 минут. Затем, в полученную таким образом сухую смесь, последовательно заливали коллоидные нанодисперсные полисиликаты натрия и водный раствор модификатора «ДС-35», перемешивали в течение 2–3 минут до образования сметанообразной массы. После чего в процессе перемешивания, в изготовленную массу вводили пену, полученную из пенообразователя на основе алкилсульфатов с плотностью 1,0–1,2 г/см³, для окончательного изготовления пеномассы. Завершающим этапом технологического процесса изготовления образцов пенобетона являлся розлив пеномассы в формы, выдержка в течение 3 суток и расформовка образцов.

Таким способом изготовленные образцы после твердения были испытаны на прочность при сжатии и определены их теплофизические свойства согласно соответствующим ГОСТам. Полученные данные приведены в таблице 4 в сравнении с аналогичными характеристиками теплоизоляционного бетона-прототипа.

Таблица 4 / Table 4

**Характеристика свойств теплоизоляционного пенобетона безавтоклавного
твердения из местного нерудного минерального сырья /
Characteristics of properties heat-insulating non-autoclaved foam concrete
from local non-metallic mineral cheese**

№ п/п. / No. p/p	Состав теплоизоляционного бетона, мас. %: / The composition of heat-insulating concrete, wt. %:						Средняя плотность сухого образца, кг/м ³ / Average dry sample density, kg/m ³	Коэффициент теплопроводности, λ, Вт/м·°C / Thermal conductivity coefficient, λ, W/m·°C	Прочность на сжатие после 28 суток нормального твердения МПа / Compressive strength after 28 days of normal hardening MPa
	Цемент / cement	Монтмориллонитовая глина с содержанием минерала монтмориллонита более 60% / montmorillonite clay with more than 60% montmorillonite minera lcontent	Глино порошок с содержанием глинистых частиц не более 50% / Clay powder with a content of clay particles not more than 50%	Пенообразующая добавка «Ника» / Foaming additive «Nika»	Пенообразователь на основе алкилсульфатов / Foaming agent based on alkylsulfates	Вода / Water			
1. прототип / 1. prototype	47,0	11,0	-	0,5	-	40,00	200	0,050	0,90
2. прототип / 2. prototype	44,0	13,8	-	0,7	-	42,80	200	0,050	1,00
3.	33,0	-	16,5	-	0,70	49,80	200	0,050	0,50
4.	34,7	-	14,2	-	0,75	50,35	200	0,051	0,52
5.	37,0	-	15,0	-	0,50	47,50	300	0,080	0,80
6.	39,7	-	16,0	-	0,30	44,00	500	0,100	1,10
7.	38,0	-	19,2	-	0,30	42,50	500	0,098	1,04

Полученные данные подтверждают, что прочность образцов из предлагаемого теплоизоляционного бетона, при почти равной их средней плотности (с плотностью образцов из бетона-прототипа), на 60% выше прочности образцов аналогичного теплоизоляционного бетона-прототипа, изготовленного из природного молотого глино порошка. При этом коэффициент теплопроводности исследуемого теплоизоляционного пенобетона на 14% ниже, чем аналогичный показатель прототипа.

Все это доказывает активное совместное взаимодействие мелкодисперсных частиц тонкомолотой бентонитовой глины с нанодисперсными полиморфными частицами коллоидного полисиликата натрия, портландцемента, а также с добавкой-модификатором «ДС-35» и пеной из пенообразователя на основе алкилсульфатов с плотностью 1,0–1,2 г/см³.

Наряду с улучшением свойств исследуемого теплоизоляционного бетона введение в состав, взамен молотого глинопорошка, тонкомолотой бентонитовой глины и дополнительно связующего вещества (коллоидные нанодисперсные полисиликаты натрия и добавки модификатора «ДС-35»), способствует снижению расхода портландцемента. А это в целом приводит к снижению стоимости теплоизоляционного материала.

Учитывая высокие показатели свойств разработанного состава и способа изготовления теплоизоляционного бетона, была подана заявка на изобретение и в результате рассмотрения заявки получен патент [Yang et al., 2021]. Сравнительные характеристики разработанного теплоизоляционного бетона и прототипа (Патент РФ №2234484, С04 38/10, опубликован 20.08.2004 г.) приведены в таблице 4.

Проведена опытно-промышленная апробация разработанного теплоизоляционного материала. Подтверждением этого является то, что в цеху по изготовлению пенобетонных изделий ООО НПО «Шамхальский завод железобетонных изделий» изготавливались стеновые и перегородочные блоки для индивидуального строительства.

Выводы

Посредством теоретических и экспериментальных исследований разработан теплоизоляционный пенобетон безавтоклавного твердения по энергосберегающей технологии, характеризующийся высокими эксплуатационными свойствами, позволяющий повысить энергоэффективность ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Охарактеризован и изучен химический и минералогический состав сырьевых составляющих разрабатываемой композиции теплоизоляционного пенобетона.

Обоснован выбор: местного нерудного сырья, связующих веществ, добавки и пенообразователя для получения пористой структуры, и их физико-химического сочетания при получении пенобетонной теплоизоляционной композиции.

Установлен оптимальный состав для изготовления теплоизоляционного пенобетона при следующем соотношении компонентов в мас. %: цемент 24,45–27,85; тонкомолотая бентонитовая глина 24,45–27,85; коллоидные нанодисперсные полисиликаты натрия 2–4; модификатор «ДС-35» 0,43–0,49; пенообразователь 0,30–0,75; вода 42,97–44,46.

Разработан способ изготовления теплоизоляционного пенобетона, заключающийся в том, что компоненты (портландцемент и тонкомолотая бентонитовая глина) засыпают в смеситель и производят смешивание в течение 3–4 минут до получения однородной сухой смеси. В полученную, таким образом, сухую смесь, в первую очередь заливают коллоидные нанодисперсные полисиликаты натрия, изначально изготовленные из 20%-ного водного раствора силиката натрия и 16%-ного гидрозоля диоксида кремния, при их соотношении соответственно 1:1,5 и совместном перемешивании при 95°C в течение 1,5 ч с последующей выдержкой 0,5 ч. Затем вливают раствор модификатора «ДС-35» и перемешивают в течении 2–3 минут до образования сметанообразной массы. Далее в процессе перемешивания, в изготовленную массу вводится пена, полученная из пенообразователя на основе алкилсульфатов с плотностью 1,0–1,2 г/см³ для окончательного изготовления пеномассы. Завершающим этапом технологического процесса изготовления образцов пенобетона является розлив пеномассы в формы, выдержка в течение 3 суток и расформовка образцов.

Опытно-промышленные испытания и соответствующая корректировка технологии получения изделий из разработанного теплоизоляционного пенобетона осуществлялись в ООО НПО «Шамхальский завод железобетонных изделий».

Литература

1. Ахундов А.А., Удачкин В.И. Перспективы совершенствования технологии пенобетона. // Строительные Материалы. – 2002. – №3. – С. 10-11.
2. Вишневский А.А., Гринфельд Г.И., Куликова Н.О. Анализ рынка автоклавного газобетона России. // Строительные материалы. – 2013. – № 7. – С. 40–44.
3. Вишневский А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона в России. // Строительные материалы. – 2015. – №6. – С. 52–55.
4. Зарубина Л.П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии. 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – С. 416.
5. Камзолов С.М., Корниенко В.Н., Руденко Г.С. Тепловая изоляция. Учебное пособие. – М.: МГУПБ, 2010. – С. 120.
6. Коломацкий А.С. Теплоизоляционный пенобетон. // Строительные Материалы. – 2002. – №3. – С. 18-19.
7. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Технология силикатных стеновых ячеистых материалов автоклавного твердения: учебное пособие. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2016. – 120 с.
8. Михеенков М.А. Активация – путь улучшения свойств неавтоклавного пенобетона. // Популярное бетоноведение. Ячеистые бетоны в строительстве. – 2008. – С. 280–282.
9. Сулейманова Л.А. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих для энергоэффективного строительства. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – №4. – С. 47–52.
10. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Композиционные строительные материалы из нерудного сырья мезозойско-кайнозойских осадочных толщ. // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2020. – №6(49). – С. 37–43.
11. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Низкообжиговая, энергосберегающая, экологически безопасная технология производства керамических материалов на основе глинистых сланцев. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. №1. – С. 148–161. DOI: 10.46698/VNC.2022.45.82.011
12. Чистов Ю.Д., Краснов М.В. Наномодификаторы в неавтоклавном ячеистом бетоне. // Технологии бетонов. – 2010. – №7-8. – С. 68–70.
13. Amran Y.H.M., Farzadnia N., AbangAli A.A. Properties and applications of foam concrete; Overview. // Building construction material. 2015. – Vol. 101(P1). – pp. 990-1005. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112
14. Huang Yu. Development of foreign energy-saving construction technologies. // Adv. Mater. Res. – 2013. Vol. 671-674(2). – pp. 2126-2128. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.671-674.2126
15. Liu Y., Yan H. and Lam, J. C. (2014). Thermal comfort and the consequences of building energy consumption – Overview. Application. Energ. 115 (4), 164-173. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.10.062
16. Mydin M. A.O., Wang Y.C. Structural characteristics of a light system of enclosing structures made of foam concrete and steel during compression. // Thin-walled structures. – 2010. – Vol. 49(1). – pp. 66-76. DOI: 10.1016/j.tws.2010.08.007
17. Ramamoorthy K., Kunhanandan Nambiar E.K., Indu Siva Ranjani G. Classification of studies of the properties of foam concrete. // Cement-concrete composites. – 2009. – Vol. 31(6). P. 388396. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006
18. Valor R.S. Cellular concretes Part 1 Composition and methods of preparation. // ACI J. Proc. – 1954. – Vol. 50(5). – pp. 773-796. DOI: 10.14359/11794

19. Yang S., Yao H., Li J., Wang H., Zhang K., Wu S. et al. Preparation and properties of ready-to-use low-density foam concrete obtained from solid industrial waste. // *Building construction material*. – 2021. – Vol. 287(1). – p. 122946. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122946

References

1. Akhundov A. A. Prospects for improving foam concrete technology / A. A. Akhundov, V. I. Udachkin. *Building Materials*. 2002. No. 3. pp. 10-11. 3. Akhundov, A. A. Foam concrete – effective wall and heat-insulating.
2. Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I., Kulikova N.O. Market Analysis of Autoclaved Aerated Concrete in Russia. *Construction Materials*. 2013. No. 7. pp. 40–44.
3. Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I., Smirnova A.S. Production of autoclaved aerated concrete in Russia. *Building materials*. 2015. No. 6. pp. 52–55.
4. Zarubina L.P. Thermal insulation of buildings and structures. *Materials and technologies*. 2nd ed. St. Petersburg: BHV-Petersburg. 2012. p. 416.
5. Kamzolov S. M., Kornienko V. N., Rudenko G. S. Thermal insulation. Tutorial. – M.: MGUPB. 2010. p. 120.
6. Kolomatsky A. S. Heat-insulating foam concrete. *Construction Materials*. 2002. No. 3. S. 18-19.
7. Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Technology of silicate wall cellular materials of autoclave hardening: study guide. G.V. Kuznetsova, N.N. Morozov. Kazan: Publishing house Kazansk. state architect.-builds. un-t, 2016. 120 p.
8. Mikheenkov M. A. Activation – a way to improve the properties of non-autoclaved foam concrete. M. A. Mikheenkov. *Popular concrete science. Cellular concrete in construction*. 2008. pp. 280-282.
9. Suleymanova L.A. Non-autoclaved aerated concrete on composite binders for energy efficient construction [Text]. L.A. Suleimanova [et al.]. *Bulletin of BSTU im. V.G. Shukhov*. 2010. No. 4. pp. 47-52.
10. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbiev A.B. Low-burning, energy-saving, environmentally friendly technology for the production of ceramic materials based on shale. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2022. V. 12. No. 1. pp. 148-161.
11. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbiev A.B. Composite building materials from non-metallic raw materials of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary strata. *Natural and technogenic risks. Building safety*. 2020. No. 6 (49). pp. 37-43.
12. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Yusupov A.R. Composition and method of manufacturing heat-insulating concrete. Patent for invention 2759255 C2, 11/11/2021. Application No. 2018120061 dated 05/30/2018.
13. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B., Abdulaev M.Sh., Abdulganieva T.I. The use of argillite clays for the production of expanded clay. *Mining Journal: Moscow*: 2018, No. 3. pp. 58-62.
14. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B. Alkali metal polysilicates are unique binders for obtaining nanodispersed sodium polysilicate compositions. *Industrial and civil construction*, 2017. No. 4. pp. 72-76.
15. Chistov, Yu. D. Nanomodifiers in non-autoclaved cellular concrete. Yu. D. Chistov, M. V. Krasnov. *Tekhnologii betonov*. 2010. No. 7-8. pp. 68-70.
16. Amran Y. H. M., Farzadnia N. and Abang Ali, A. A. (2015). properties and applications of foam concrete; Overview. *building construction material*. 101(P1), 990-1005. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112.
17. Huang Yu (2013). Development of foreign energy-saving construction technologies. *Adv. mater. Res.* 671-674(2), pp. 2126-2128. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.671-674.2126.
18. Liu Y., Yan H. and Lam, J. C. (2014). Thermal comfort and the consequences of building energy consumption – Overview. application. *Energ.* Vol. 115(4). Pp. 164-173. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.062.

19. Mydin M. A. O. and Wang Y. C. (2011). Structural characteristics of a light system of enclosing structures made of foam concrete and steel during compression. *Thin-walled structures*. Vol. 49(1). pp. 66-76. DOI: 10.1016/j.tws.2010.08.007.

20. Ramamoorthy K., Kunhanandan Nambiar E. K. and Indu Siva Ranjani G. (2009). Classification of studies of the properties of foam concrete. *Cement-concrete composites* 31 (6), -388396. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006.

21. Valor R. S. (1954). Cellular concrete Part 1 Composition and methods of preparation. *A.C.I. J. Proc.* Vol. 50(5). pp. 773-796. Doi: 10.14359/11794.

22. Yang S., Yao H., Li J., Wang H., Zhang K., Wu S. et al. (2021). Preparation and properties of ready-to-use low-density foam concrete obtained from solid industrial waste. *Buildingconstructionmaterial*. Vol. 287(1). p. 122946. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122946.