

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.37>

ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНЫЙ ФИБРОПЕНОБЕТОН ЕСТЕСТВЕННОГО ТВЕРДЕНИЯ

Научная статья

Бартењева Е.А.^{1,*}, Куралов А.Е.²

^{1,2}Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (e.bartenyeva[at]sibstrin.ru)

Аннотация

В статье приведены данные по влиянию дисперсного микроармирования на свойства неавтоклавного цементно-зольного пенобетона. Материал готовился на протеиновых пенообразователях отечественного производства. В качестве заполнителя для приготовления пенобетона используется зола-унос от сжигания бурых углей Бородинского разреза Канско-Ачинского угольного бассейна. Установлено, что использование полипропиленовой фибры в цементно-зольном пенобетоне естественного твердения является наиболее целесообразным. Максимальная стойкость пены в растворной смеси получена при введении асбестовой фибры. Использование в составе пенобетона волокнистых добавок позволяет увеличить его трещиностойкость на 34-75%, данный показатель увеличивается при использовании фибры с более высокими показателями прочности при растяжении. Применение базальтовых волокон в пенобетоне Rospena позволяет снизить плотность до D500 и обеспечить коэффициент теплопроводности 0,150 Вт/(м°C).

Ключевые слова: пенобетон, микроармирующие добавки, зола-унос.

CEMENT ASH FIBROFOAM CONCRETE OF NATURAL CURING

Research article

Bartenyeva E.A.^{1,*}, Kuralov A.²

^{1,2}Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russian Federation

* Corresponding author (e.bartenyeva[at]sibstrin.ru)

Abstract

The article presents data on the effect of dispersed micro reinforcement on the properties of non-autoclaved cement ash foam concrete. The material was prepared on protein blowing agents of domestic production. Fly ash from the combustion of brown coals of Borodinsky open-cut mine of Kansk-Achinsky coal basin is used as an aggregate for the preparation of foam concrete. It is established that the use of polypropylene fibre in cement ash foam concrete of natural curing is the most expedient. The maximum firmness of foam in mortar mixture is obtained at introduction of asbestos fibre. The use of fibrous additives in the composition of foam concrete allows to increase its crack resistance by 34-75%, this indicator increases when using fibres with higher tensile strength. The use of basalt fibres in Rospena foamed concrete allows to reduce the density to D500 and provide a thermal conductivity coefficient of 0.150 W/(m°C).

Keywords: foam concrete, micro-reinforcing additives, fly ash.

Введение

Утилизация техногенных отходов производств, например, таких как зола-унос, в составе строительных материалов является актуальной экологической и экономической задачей [1], [3], [4], [5]. Одним из перспективных направлений применения зол-уноса является производство с их использованием неавтоклавных пенобетонов. Такие изделия обладают повышенными теплоизоляционными характеристиками, невысокой стоимостью, относительно низкими энергетическими затратами при производстве. Сложность обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик неавтоклавного пенобетона заключается в сохранении оптимальной пористой структуры до затвердевания материала. Для повышения его качества используют волокнистые добавки [6]. Они способствуют повышению агрегативной устойчивости пенобетонной смеси [7], [8], повышают пластическую прочность [9] и прочность готовых изделий [7], а также трещиностойкость [10]. За счет микроармирующего эффекта фибра позволяет снизить усадочные деформации [11], [12]. В качестве фибры используют стеклянные и базальтовые волокна [8], [9], [10], полипропиленовые [13], применяют углеродное волокно [9], [14], целлюлозный наполнитель, полученный в результате мокрого измельчения макулатуры [7], [15] и др.

Целью данной работы является повышение агрегативной устойчивости и прочностных характеристик неавтоклавного цементно-зольного пенобетона с использованием волокнистых добавок.

Методы и принципы исследования

В работе использовались следующие материалы:

– портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Н (ООО «Топкинский цемент», Кемерово), химический состав, мас. %: CaO – 63,02; SiO₂ – 19,29; Al₂O₃ – 4,63; Na₂O – 0,37; K₂O – 0,47; MgO – 1,86; TiO₂ – 0,28; Fe₂O₃ – 3,91; SO₃ – 3,98; P₂O₅ – 0,07; MnO – 0,05, ППП – 2,25, истинная плотность – 3160 кг/м³, насыпная плотность – 1056 кг/м³;

– основная зола-унос от сжигания бурых углей Бородинского разреза Канско-Ачинского угольного бассейна (ТЭЦ-5, Новосибирск), химический состав, мас. %: SiO_2 – 49,47; Al_2O_3 – 7,36; Fe_2O_3 – 7,51; CaO – 27,53; MgO – 4,52; Na_2O – 0,23; K_2O – 0,28; SO_3 – 1,24; BaO – 0,38, P_2O_5 – 0,03, TiO_2 – 0,44, ППП – 0,52, насыпная плотность – 1342 кг/м³, истинная плотность – 2489 кг/м³, удельная поверхность – 240 м²/кг, влажность – 0,4%.

Удельная активность естественных радионуклидов золы составляет 113 Бк/кг, такой материал может использоваться для строительства жилых и общественных зданий [16].

По данным рентгенофазового анализа в составе золы обнаруживаются кварц $(3,35, 1,82, 1,54) \times 10^{-1}$ нм, муллит $(3,35, 2,11, 2,40, 2,28, 2,12, 1,54) \times 10^{-1}$ нм, мусковит $(3,35, 1,98, 2,40, 2,12, 1,69, 1, 54) \times 10^{-1}$ нм, ортоклаз $(3,35, 1,81, 4,26, 3,5, 2,77, 2,46, 2,12, 1,98) \times 10^{-1}$ нм.

По содержанию оксида кальция зола содержит более 10 %, в соответствии с ГОСТ 25818-2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия» зола является основной. По требованиям стандарта для ячеистых бетонов количество $\text{CaO}_{\text{своб}}$ не нормируется. По классификации Савинкиной М. А. и Логвиненко А. Т. исследуемая зола относится к среднекальциевой с содержанием CaO 20-30% [17]. Содержание сернистых и сернокислых соединений не превышает 6%, количество щелочных оксидов также удовлетворяет требованиям стандарта (не более 3,5%). Потери при прокаливании составляют 0,52%, что не превышает нормируемых показателей (3%) и соответствует значениям золы сухого отбора. Зола-унос соответствует требованиям ГОСТ 25818-2017.

Модуль основности для исследуемой золы составляет 0,56, коэффициент качества равен 1,04. Такие золы обладают свойством самостоятельного твердения, могут применяться для производства изделий на их основе. По требованиям межгосударственного стандарта [18] в качестве вяжущего компонента в ячеистых бетонах можно использовать высокоосновную золу с содержанием оксида кальция не менее 40%. Т.к. исследуемая зола данному параметру не соответствует, было решено ее использовать в качестве заполнителя.

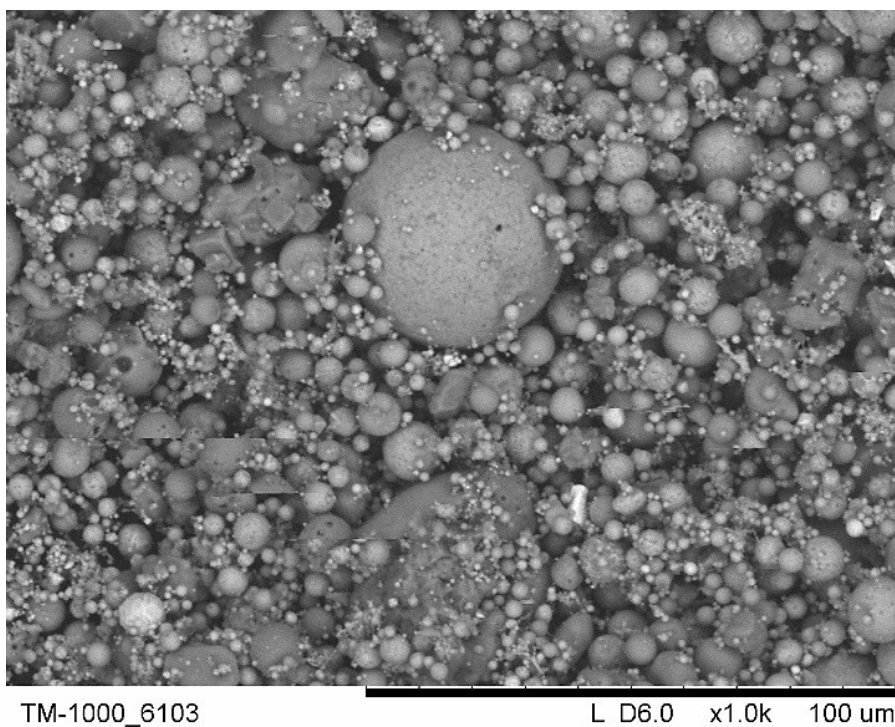


Рисунок 1 - Электронная фотография золы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.37.1>

Примечание: 1000-кратное увеличение

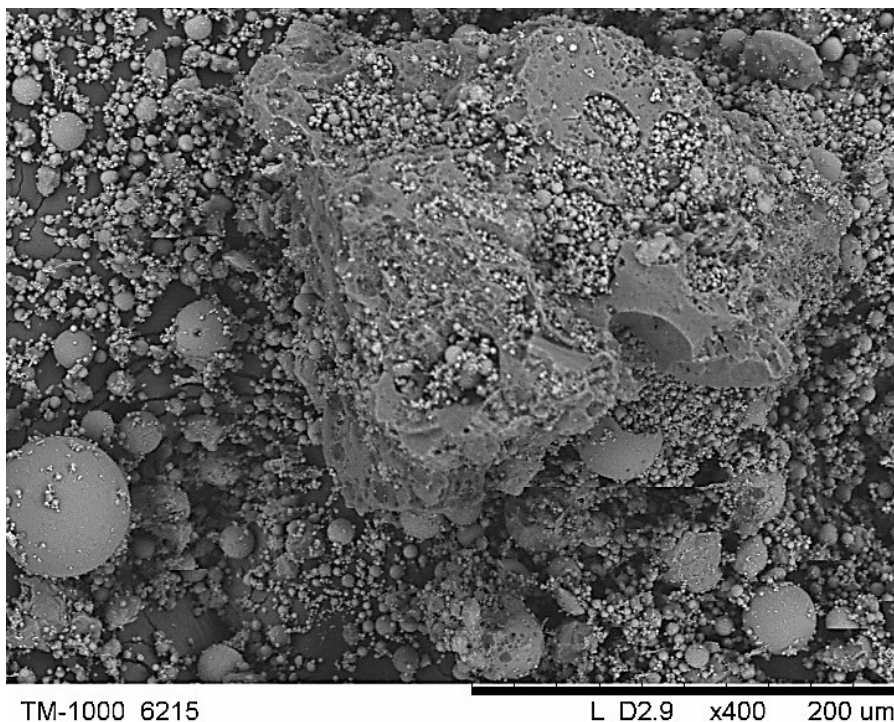


Рисунок 2 - Электронная фотография золы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.37.2>

Примечание: 400-кратное увеличение

Как видно на рисунке 1, основная масса золы представлена частицами округлой формы, обладающими в основном закрытой пористостью. В средней и крупной фракциях встречаются частицы неправильной формы с открытой пористостью. Также обнаруживаются агрегированные частицы, когда на поверхности более крупных располагаются мелкие микросферы (рис. 2). Это может приводить к увеличению водопотребности смеси.

Для приготовления пены использовались отечественные пенообразователи, состоящие из протеинов (белков) – биополимеров Rospena (ТУ 24.66.47.142-001-0139620869-2019) и Эталон (ТУ 2483-003-13420175-2015).

В качестве армирующих компонентов применяли минеральную и органическую фибру: базальтовую, полипропиленовую и асбестовую. Использовались базальтовые волокна (СЕММIX), содержащие SiO_2 , Al_2O_3 . Длина фибры – 12 мм, диаметр – 17 мкм, обладают химической стойкостью. Прочность при растяжении – 3000 МПа. Полипропиленовое волокно (ООО ПК Альянс) с длиной волокон 6 мм, диаметром 40 мкм. Волокна обладают химической стойкостью. Прочность при растяжении – 570 МПа. Асбест хризотилловый Киембаевского месторождения марки А-6К-30 (АО «Оренбургские минералы») с длиной волокон менее 16 мм, диаметром менее 0,5 мкм. Прочность при растяжении – 3200 МПа.

Пенобетон естественного твердения готовился по двухстадийной технологии на турбулентной установке со скоростью вращения рабочего органа 940-1500 об/мин. Твердение образцов происходило в нормальных условиях, на 28-е сутки проводились их испытания.

Основные результаты

Для приготовления пенобетона было определено оптимальное количество порообразователя, которое составило 3% для пенообразователя Эталон, для Rospena – 7%. На пенообразователе Эталон возможно получить низократную пену (16), а на пенообразователе Rospena – среднекратную (25). Добавки вводились в воду для их равномерного распределения в объеме материала, чтобы исключить агрегирование волокон.

В таблице 1 представлены результаты испытаний пенобетона на основе пенообразователя Эталон. Для контрольного образца плотность составляет 603 кг/м^3 . Базальтовые волокна значительно повышают плотность по сравнению с контрольным составом (на 30%). При введении асбестовых и полипропиленовых волокон плотность меняется незначительно по сравнению с контрольным образцом.

При сравнении ККК можно отметить, что введение асбестовых волокон снижает его на 12%, наблюдается увеличение ККК при введении полипропиленовой (23) и базальтовой фибры (89).

Таблица 1 - Свойства пенобетона Эталон

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.37.3>

Показатель	Волокна
------------	---------

	Без добавок	Базальтовая	Полипропиленовая	Асбестовая
Средняя плотность, кг/м ³	603	822	638	570
Предел прочности при сжатии, МПа	2,12	5,47	2,76	1,76
ККК	3,52	6,65	4,33	3,09
Предел прочности при изгибе, МПа	1,35	5,25	2,37	1,97
Ризг/Рсж	0,64	0,96	0,86	1,12

Механизм действия волокнистых добавок заключается в армировании материала и препятствии распространению трещин в композите. Использование в составе пенобетона фибры позволяет увеличить его трещиностойкость (Ризг/Рсж) на 34-75%. Увеличение трещиностойкости материала при введении волокон может быть связано с их характеристиками. С повышением прочности при растяжении используемой фибры наблюдается рост трещиностойкости полученного пенобетона (табл. 1).

Также волокнистые добавки повышают стойкость пены в растворяющей смеси на 6-15% (рис. 3). За счет своей протяженной формы волокна более эффективно удерживают воздух в пенобетонной смеси. Наиболее значительное влияние оказывает асбестовая фибра (15%), возможно это связано с наилучшим распределением волокон в объеме материала. Волокна могут закупоривать каналы Плато, что также положительно сказывается на агрегативной устойчивости пенобетонной смеси.

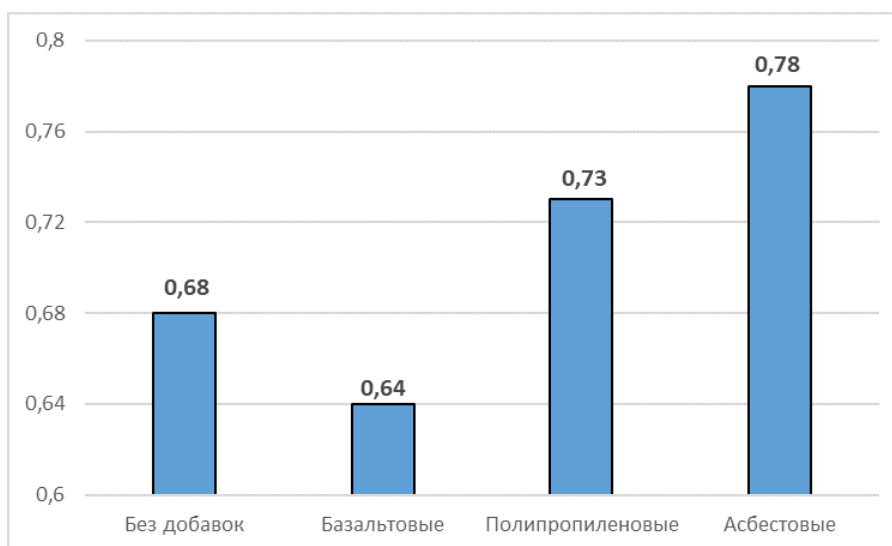


Рисунок 3 - Стойкость пены Эталон в растворяющей смеси

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.37.4>

При использовании пенообразователя Rospena готовый пенобетон обладает средней плотностью 575 кг/м³ (табл. 2). Введение базальтовой и хризотил-асбестовой фибры позволяет уменьшить плотность на 17 и 48% соответственно. По сравнению с контрольным образцом ККК увеличивается при введении полипропиленовых волокон на 9,5%. Наблюдается значительное повышение трещиностойкости для хризотил-асбестовых волокон (в 2,5 раза). Для пенобетона Rospena трещиностойкость также увеличивается при использовании фибры с более высокими значениями прочности при растяжении (табл. 2).

Таблица 2 - Свойства пенобетона Rospena

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.37.5>

Показатели	Волокна			
	без добавок	базальтовые	полипропиленовые	хризотил-асбестовые
Средняя плотность, кг/м ³	575	494	589	310

Предел прочности при сжатии, МПа	2,3	1,57	2,76	0,46
ККК	3,99	3,29	4,57	1,48
Предел прочности при изгибе, МПа	1,5	1,38	2,16	0,75
Ризг/Рсж	0,65	0,88	0,78	1,63

При введении хризотил-асбестовых волокон плотность пенобетона снижается до 310 кг/м^3 , но при этом падает и прочность (табл. 2), ККК уменьшается практически в 2,5 раза. ККК несколько снижается при использовании базальтовых волокон, трещиностойкость при этом увеличивается на 35%. Коэффициент теплопроводности пенобетона с базальтовой фиброй составляет $0,150 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ при определении методом теплового зонда [19], что позволяет использовать данный материал как теплоизоляционный.

Для пенобетона Rospena стойкость пены в растворяющей смеси увеличивается на 4-8% (рис. 4). За счет своей протяженной формы частицы повышают вязкость смеси, а также позволяют эффективно проводить воздухововлечение в смесь. Наибольшее повышение стойкости пены Rospena также наблюдается для пенобетонной смеси с хризотил-асбестовыми волокнами.

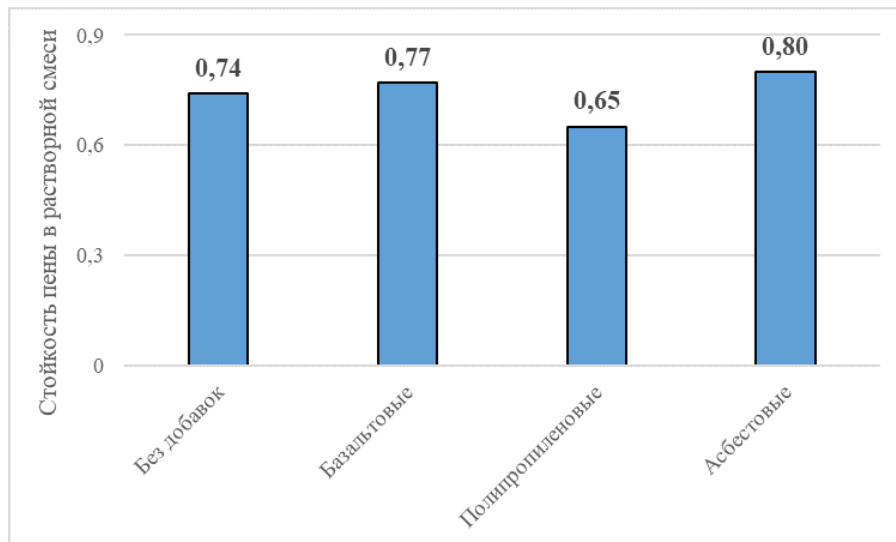


Рисунок 4 - Стойкость пены Rospena в растворяющей смеси
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.37.6>

Предполагается [20], [21], что повышение прочности цементного камня с микроармирующими волокнами может быть обусловлено увеличением степени гидратации цемента.

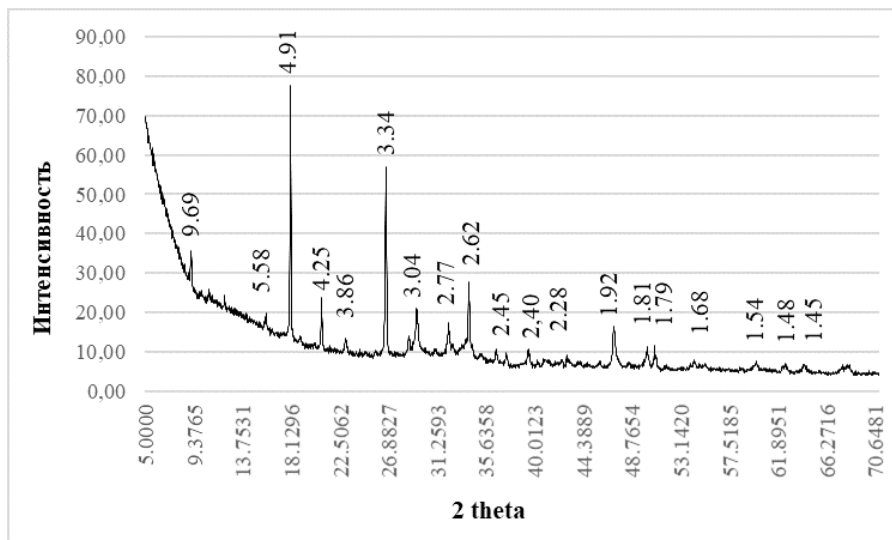


Рисунок 5 - Рентгенограмма пенобетона Rospena
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.37.7>

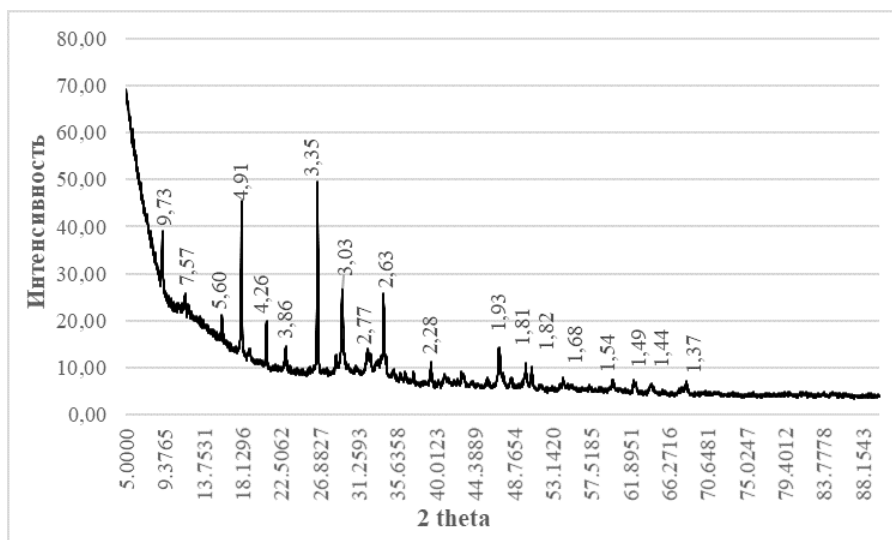


Рисунок 6 - Рентгенограмма пенобетона Эталон
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.37.8>

На рисунках 5-6 представлены рентгенограммы образцов пенобетона на пенообразователях Rospena и Эталон соответственно. В образцах присутствуют $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (4,91, 3,04, 2,63, 1,92, 1,79, 1,68), $\alpha\text{-SiO}_2$ (3,34; 4,25; 2,45, 2,28, 1,81, 1,45), CaCO_3 (3,86, 3,04, 2,28, 1,92, 1,48), CaO (4,92, 2,77, 2,62, 2,40, 1,92, 1,79, 1,48, 1,45), $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_2$ (7,9, 4,65, 4,28, 3,84, 3,11, 2,29, 2,06; 1,99; 1,88), $\text{C}_6\text{S}_6\text{H}$ (3,04, 4,27, 3,87, 1,93), $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_2$ (9,63, 4,27, 3,86, 3,36, 3,04, 2,63, 2,28). Можно отметить, что для пенобетона Rospena интенсивность линии, соответствующих $\text{Ca}(\text{OH})_2$ выше, чем у образцов пенобетона Эталон, что может объяснять их более высокую прочность при сжатии.

При сравнении рентгенограмм пенобетона с волокнистыми добавками наблюдаются различия в интенсивностях линии, соответствующих $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Наибольшая интенсивность относится к пенобетону Rospena с полипропиленовой фиброй и снижается при введении базальтовой, наименьшая соответствует пенобетону с асбестовыми волокнами. Таким образом, можно предположить, что волокна выполняют роль подложки для новообразований, увеличивают степень гидратации цемента, при этом повышается прочность при сжатии и ККК пенобетона (табл. 2). Для пенобетона Эталон интенсивность линий уменьшается в следующем порядке: при введении базальтовой фибры, полипропиленовой, асбестовой. Что также согласуется с уменьшением прочности и ККК фибропенобетона (табл. 1). Наименьшее влияние на прочность и ККК для обоих пенообразователей оказывает асбестовая фибра.

Заключение

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Исследуемая зола относится к среднекальциевой, может быть использована в качестве заполнителя для получения неавтоклавного пенобетона.

2. Для пенообразователя Эталон характерна низкократная пена, для Rospena – средnekратная. Стойкость пены Rospena в цементно-зольной смеси выше на 9% по сравнению с пеной Эталон. Более полная гидратация цемента происходит при использовании пенообразователя Rospena, также такой пенобетон имеет более высокий ККК.

3. Использование в составе цементно-зольного пенобетона волокнистых добавок позволяет увеличить его трещиностойкость на 34-75%, данный показатель возрастает при использовании фибры с более высокой прочностью при растяжении.

4. Стойкость пены в растворяющей смеси увеличивается на 4-17%, за счет дополнительного воздухововлечения снижается средняя плотность материала. Наибольшее воздухововлечение обеспечивает хризотил-асбестовая фибра.

5. Полипропиленовые волокна увеличивают ККК, средняя плотность меняется незначительно, трещиностойкость повышается на 20-34% в зависимости от пенообразователя.

6. Введение базальтовой фибры позволяет снизить среднюю плотность пенобетона Rospena до D500, ККК при этом составляет 3,29, коэффициент теплопроводности 0,150 Вт/(м°С), что позволяет использовать материал как теплоизоляционный.

Средняя плотность пенобетона Эталон значительно возрастает при использовании базальтовых волокон, ККК повышается. Что может быть связано с трудностью равномерного распределения данного вида фибры.

7. Наибольшая прочность и ККК пенобетона с фиброй соответствует образцам с более полной гидратацией цемента. Наименьшие значения определены для пенобетона с асбестовыми волокнами.

Финансирование

Грант Правительства Новосибирской области молодым ученым (Распоряжение Правительства НСО от 05.09.2023 № 628-рп, договор от 18.09.2023 № гр-1).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

Grant from the Government of the Novosibirsk Region to young scientists (Decree of the Government of the National Academy of Sciences dated 09/05/2023 No. 628-rp, agreement dated 09/18/2023 No. gr-1).

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Андреева Н. Г. Проблемы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ и возможные пути их решения / Н. Г. Андреева // Ползуновский вестник. — 2011. — 4-2. — с. 164-166.
2. Уфимцев В. М. Бесцементный бетон на высококальциевой золе ТЭС / В. М. Уфимцев, В. Ф. Григорьева // Технология бетонов. — 2019. — 9-10. — с. 56-57.
3. Zhipeng Li Reactivity of coal fly ash used in cementitious binder systems: A state-of-the-art overview / Li Zhipeng, Xu Gang, Shi Xianming // Fuel. — 2021. — 301. — р. 121031. — DOI: 10.1016/j.fuel.2021.121031.
4. Шишакина О. А. Обзор направлений утилизации техногенных отходов в производстве строительных материалов / О. А. Шишакина, А. А. Паламарчук // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2019. — 4. — с. 198-203.
5. Gencel O. Influence of Bottom Ash and Polypropylene Fibers on the Physico-Mechanical, Durability and Thermal Performance of Foam Concrete: An Experimental Investigation / O. Gencel, S. Minhaj Saleem Kazmi, M. Junaid Munir et al. // Construction and Building Materials. — 2021. — 306. — р. 124887. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124887.
6. Моргун В.Н. Актуальность применения фибропенобетона в современном строительстве / В.Н. Моргун, Л.В. Моргун, В.В. Нагорский и др. // Технологии бетонов. — 2021. — 3(176). — с. 27-31.
7. Иващенко Ю.Г. Конструкционно-теплоизоляционный пенобетон, модифицированный волокнистым наполнителем / Ю.Г. Иващенко, Д.Ю. Багапова, А.В. Страхов // Инженерный вестник Дона. — 2017. — 4 (47). — с. 157.
8. Машкин Н. А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсно-армированный минеральными и волокнистыми добавками / Н. А. Машкин, А. И. Кудяков, Е. А. Бартьева // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2018. — 8 (716). — с. 58-68.
9. Иващенко Ю. Г. . Управление структурообразованием дисперсно-армированного пенобетона на макроуровне / Ю. Г. Иващенко, Д. Ю. Багапова, А. В. Страхов // Фундаментальные основы строительного материаловедения: Сборник докладов Международного онлайн-конгресса, Белгород, 06–11 октября 2017 года; — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. — с. 307-311.
10. Вотрин Д. А. Сравнительный анализ фибропенобетона с теплоизоляционными ячеистыми бетонами / Д. А. Вотрин // Новое слово в науке: перспективы развития. — 2015. — 4(6). — с. 132-133.
11. Пат. 2803561 Российская Федерация, МПК2023105441/С 1 МПК С04В 28/04. Сырьевая смесь для изготовления фибропенобетона / Хежев Т. А.; заявитель и патентообладатель Государственный Университет Им. Х.М. Бербекова. — № 2023105441/С 1; заявл. 2023-03-09; опубл. 2023-09-05. — 5 с.
12. Суворов И. О. Дисперсное полиармирование как способ снижения усадки фибропенобетона : дис. ...канд. : 05.23.05 : защищена 2016-12-19 : утв. 2017-06-13 / И. О. Суворов — Санкт-Петербург: 2017.— 137 с.

13. Моргун В. Н. Свойства пенобетонов при их дисперсном армировании полипропиленовыми и углеродными волокнами / В. Н. Моргун, Л. В. Моргун // Строительные материалы. — 2022. — 9. — с. 50-54.
14. Пат. 2800176 Российская Федерация, МПК2023104553 С 1. Ячеистая фибропенобетонная смесь / Моргун Л. В.; заявитель и патентообладатель Донской государственный технический университет. — № 2023104553; заявл. 2024-06-17; опубл. 2024-06-17. — 6 с.
15. Федоров В. И. Стеновые материалы из фибропенобетона на различных вяжущих / В. И. Федоров // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 25–28 апреля 2017 года; — Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. — с. 68-70.
16. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов — Введ. 1995-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2007.— 8 с.
17. Савинкина М. А. Золы канско-ачинских бурых углей / М. А. Савинкина, А. Т. Логвиненко — Новосибирск: Наука, 1979. — 168 с.
18. Бетоны ячеистые. Общие технические условия — Введ. 2020-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2019.— 15 с.
19. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом — Введ. 1996-01-01. — Москва: ИПК Издательство стандартов, 1996.— 20 с.
20. Стешенко А. Б. Модифицированный теплоизоляционный пенобетон с пониженной усадкой : дис. ...канд. : 05.23.05 : защищена 2015-12-24 : утв. 2024-06-17 / А. Б. Стешенко — Томск: 2024.— 188 с.
21. Пухаренко Ю. В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов : дис. ...д-ра : 05.23.05 : защищена 2005-02-22 : утв. 2005-02-22 / Ю. В. Пухаренко — Санкт-Петербург: 2005.— 42 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Andreeva N. G. Problemy utilizatsii zoloshlakovykh othodov TETs i vozmozhnye puti ih reshenija [Problems of utilization of ash and slag waste from CHP plants and possible solutions] / N. G. Andreeva // Polzunovskiy Bulletin. — 2011. — 4-2. — p. 164-166. [in Russian]
2. Ufimtsev V. M. Bestsementnyj beton na vysokokal'tsievoy zole TES [Cement-free concrete on high-calcium ash of thermal power plants] / V. M. Ufimtsev, V. F. Grigor'eva // Concrete Technologies. — 2019. — 9-10. — p. 56-57. [in Russian]
3. Zhipeng Li Reactivity of coal fly ash used in cementitious binder systems: A state-of-the-art overview / Li Zhipeng, Xu Gang, Shi Xianming // Fuel. — 2021. — 301. — p. 121031. — DOI: 10.1016/j.fuel.2021.121031.
4. Shishakina O. A. Obzor napravlenij utilizatsii tehnogennykh othodov v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Overview of the directions of utilization of man-made waste in the production of building materials] / O. A. Shishakina, A. A. Palamarchuk // International Journal of Applied and Fundamental Research. — 2019. — 4. — p. 198-203. [in Russian]
5. Gencil O. Influence of Bottom Ash and Polypropylene Fibers on the Physico-Mechanical, Durability and Thermal Performance of Foam Concrete: An Experimental Investigation / O. Gencil, S. Minhaj Saleem Kazmi, M. Junaid Munir et al. // Construction and Building Materials. — 2021. — 306. — p. 124887. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124887.
6. Morgun V.N. Aktual'nost' primeneniya fibropenobetona v sovremennom stroitel'stve [The relevance of the use of fibropenocrete in modern construction] / V.N. Morgun, L.V. Morgun, V.V. Nagorskij et al. // Concrete technologies. — 2021. — 3(176). — p. 27-31. [in Russian]
7. Ivaschenko Ju.G. Konstruktsionno-teploizoljatsionnyj penobeton, modifitsirovannyj voloknistym napolnitelem [Structural and thermal insulation foam concrete modified with fibrous filler] / Ju.G. Ivaschenko, D.Ju. Bagapova, A.V. Strahov // Engineering Bulletin of the Don. — 2017. — 4 (47). — p. 157. [in Russian]
8. Mashkin N. A. Neavtoklavnyj penobeton, dispersno-armirovannyj mineral'nymi i voloknistymi dobavkami [Non-autoclaved foam concrete, dispersed reinforced with mineral and fibrous additives] / N. A. Mashkin, A. I. Kudjakov, E. A. Barten'eva // News of higher educational institutions. Construction. — 2018. — 8 (716). — p. 58-68. [in Russian]
9. Ivaschenko Ju. G. . Upravlenie strukturoobrazovaniem dispersno-armirovannogo penobetona na makrourovne [Management of the structure formation of dispersed reinforced foam concrete at the macro level] / Ju. G. Ivaschenko, D. Ju. Bagapova, A. V. Strahov // Fundamental principles of building materials science: Collection of reports of the International Online Congress, Belgorod, October 06-11, 2017; — Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2017. — p. 307-311. [in Russian]
10. Votrin D. A. Sravnitel'nyj analiz fibropenobetona s teploizoljatsionnymi jacheistymi betonami [Comparative analysis of fibropen concrete with heat-insulating cellular concretes] / D. A. Votrin // A new word in science: development prospects. — 2015. — 4(6). — p. 132-133. [in Russian]
11. Пат. 2803561 Russian Federation, МПК2023105441/С 1 МПК С04В 28/04. Syr'evaja smes' dlja izgotovlenija fibropenobetona [Raw material mixture for the manufacture of fibropenocrete] / Hezhev T. A.; the applicant and the patentee Gosudarstvennyj Universitet Im. H.M. Berbekova. — № 2023105441/С 1; appl. 2023-03-09; publ. 2023-09-05. — 5 p. [in Russian]
12. Suvorov I. O. Dispersnoe poliarmirovanie kak sposob snizhenija usadki fibropenobetona [Dispersed polyarming as a way to reduce shrinkage of fibropen concrete] : dis....of PhD in Engineering : 05.23.05 : defense of the thesis 2016-12-19 : approved 2017-06-13 / I. O. Suvorov — Sankt-Peterburg: 2017.— 137 p. [in Russian]
13. Morgun V. N. Svoystva penobetonov pri ih dispersnom armirovanii polipropilenvymi i uglerodnymi voloknami [Properties of foam concrete in their dispersed reinforcement with polypropylene and carbon fibers] / V. N. Morgun, L. V. Morgun // Building materials. — 2022. — 9. — p. 50-54. [in Russian]

14. Pat. 2800176 Russian Federation, MPK2023104553 C 1. Jacheistaja fibropenobetonnaja smes' [Cellular fibropen concrete mix] / Morgun L. V.; the applicant and the patentee Donskoj gosudarstvennyj tehničeskij universitet. — № 2023104553; appl. 2024-06-17; publ. 2024-06-17. — 6 p. [in Russian]
15. Fedorov V. I. Stenovyje materialy iz fibropenobetona na različnyh vjazhuschih [Fibropenocrete wall materials on various binders] / V. I. Fedorov // Prospects for the development of fundamental sciences: collection of scientific papers of the XIV International Conference of Students; — Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2017. — p. 68-70. [in Russian]
16. Materialy i izdelija stroitel'nye. Opredelenie udel'noj effektivnoj aktivnosti estestvennyh radionuklidov [Building materials and elements. Determination of specific activity of natural radioactive nuclei] — Introduced 1995-01-01. — Moskva: Standartinform, 2007.— 8 p. [in Russian]
17. Savinkina M. A. Zoly kansko-achinskih buryh uglej [Ashes of Kansk-Achinsk brown coals] / M. A. Savinkina, A. T. Logvinenko — Novosibirsk: Nauka, 1979. — 168 p. [in Russian]
18. Betony jacheistyje. Obschie tehničeskie uslovija [Cellular concretes. General specifications] — Introduced 2020-01-01. — Moskva: Standartinform, 2019.— 15 p. [in Russian]
19. Materialy i izdelija stroitel'nye. Metod opredelenija teploprovodnosti tsilindričeskim zondom [Construction materials and products. Method for determining thermal conductivity by a cylindrical probe] — Introduced 1996-01-01. — Moskva: IPK Publishing house of standarts, 1996.— 20 p. [in Russian]
20. Steshenko A. B. Modifitsirovannyj teploizoljatsionnyj penobeton s ponizhennoj usadkoj [Modified thermal insulation foam concrete with reduced shrinkage] : dis....of PhD in Engineering : 05.23.05 : defense of the thesis 2015-12-24 : approved 2024-06-17 / A. B. Steshenko — Tomsk: 2024.— 188 p. [in Russian]
21. Puharenko Ju. V. Nauchnye i praktičeskie osnovy formirovanija struktury i svojstv fibrobetonov [Scientific and practical foundations of the formation of the structure and properties of fiber concrete] : dis....of PhD in Engineering : 05.23.05 : defense of the thesis 2005-02-22 : approved 2005-02-22 / Ju. V. Puharenko — Sankt-Peterburg: 2005.— 42 p. [in Russian]