

УДК 691.542, 662.73
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421>
EDN: RIZZQM
Научная статья



ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ И ТОРФОВЕРМИКУЛИТОВЫХ ГРАНУЛ

Д. С. Горкольева*, Н. О. Копаница

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия

gorkoltsevadina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1861-8824>

kopanitsa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6081-6621>

*ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Анализ литературных и экспериментальных данных ресурсного обеспечения строительного рынка показал, что разработка новых и эффективных материалов с улучшенными параметрами качества является актуальной задачей и в долгосрочной перспективе послужит толчком к развитию рынка строительных материалов.

На данный момент торфяная промышленность в Российской Федерации имеет низкие показатели по добыче торфяного сырья, запасы которого считаются неисчерпаемыми. Для потенциального развития торфяной отрасли на территории Сибирского региона может быть организовано производство современных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов на основе местного сырья, залегающего в месторождениях Томской области. Применение низинного торфа и вспученного вермикулита для создания нового конкурентного материала может способствовать повышению экономического и промышленного престижа региона, что приведет к открытию новых рабочих мест.

Материалы и методы. Проведены исследования с применением методов и испытаний, изложенных в национальных стандартах. Измерение плотности полученного материала осуществлялось в соответствии с ГОСТ 17177–94. Определение прочности образцов при сжатии и при изгибе производилось в соответствии с ГОСТ 23789–2018. Определение процента влажности образцов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 23789–2018.

Результаты. Результаты проведенных исследований позволили определить основные требования к проектируемому составу легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфровермикулитовых гранул. Исследована взаимосвязь прочностных характеристик и плотности легкого бетона, установлено, что при значениях средней плотности в интервале 530–850 кг/м³ полученный материал соответствует основным техническим требованиям теплоизоляционных легких бетонов (ГОСТ 25820–2014).

Обсуждение и заключение. В работе экспериментальными исследованиями определено рациональное соотношение компонентов легких бетонов на основе гипсового вяжущего и торфровермикулитовых гранул, при котором достигаются максимальные значения прочности при минимальной плотности. На основании полученных данных было установлено, что для достижения необходимых физико-механических свойств легких бетонов на основе гипсовых вяжущих оптимальный размер торфровермикулитовых гранул должен быть не более 4–5 мм.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: торф, вермикулит, гипс, торфровермикулитовый материал, легкие бетоны, торфогипсовый композит, теплоизоляционные материалы на основе торфа, гранулированные материалы, торфровермикулитовая смесь, композиционный материал.

Статья поступила в редакцию 31.01.2022; одобрена после рецензирования 23.05.2022; принята к публикации 10.06.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Горкольева Д. С., Копаница Н. О. Физико-механические свойства легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфровермикулитовых гранул // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 3 (85). С. 412–421. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421>

© Горкольева Д. С., Копаница Н. О., 2022



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421>

EDN: RIZZQM

Original article

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON GYPSUM BINDERS AND PEAT VERMICULITE GRANULES

Dinara S. Gorkoltseva*, **Natalia O. Kopanitsa**

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering,

Tomsk, Russia

gorkoltsevadinara@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1861-8824>

kopanitsa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0991-8550>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. An analysis of the literature and experimental data on the resource provision of the construction market has shown that the development of new and effective materials with improved quality parameters is an urgent task, and in the long term will serve as an impetus for the development of the building materials market. Currently, the peat industry in Russia is experiencing a serious decline in the extraction of peat raw materials, the reserves of which are practically inexhaustible. One of the possible ways to develop this industry in the Tomsk region can be the organisation of the production of competitive structural, heat-insulating and heat-insulating materials using local raw materials, namely lowland peat and vermiculite, which will improve the economic prestige of the region, create new enterprises and jobs.

Materials and methods. The studies using the methods and tests set out in national standards were carried out. The measurement of the obtained material density was carried out in accordance with GOST 17177-94. The determination of the samples strength in compression and in bending was carried out in accordance with GOST 23789-2018. The determination of the moisture content percentage of the samples was carried out in accordance with GOST 23789-2018.

Results. The results of the research made it possible to determine the basic requirements for the designed composition of lightweight concrete based on gypsum binders and peat vermiculite granules. The relationship between the strength characteristics and density of lightweight concrete has been studied, it has been established that at average density values in the range of 530-850 kg/m³, the resulting material meets the basic technical requirements of heat-insulating lightweight concrete (GOST 25820-2014).

Discussion and conclusions. In the work, experimental studies determined the rational ratio of the components of lightweight concrete based on gypsum binder and peat vermiculite granules, at which the maximum value of their strength is achieved at a minimum average density. Based on the data obtained, it was found that in order to achieve the necessary physical and mechanical properties of lightweight concretes based on gypsum binders, the optimal size of peat-vermiculite granules should be no more than 5 mm.

KEYWORDS: peat, vermiculite, gypsum, peat-vermiculite material, lightweight concrete, peat-gypsum composite, heat-insulating materials based on peat, granular materials, peat-vermiculite mixture, composite material.

The article was submitted 31.01.2022; approved after reviewing 23.05.2022; accepted for publication 10.06.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Gorkoltseva D. S., Kopanitsa N. O. Physical and mechanical properties of lightweight concrete based on gypsum binders and peat vermiculite granules. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (3): 412-421. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421>

© Gorkoltseva D. S., Kopanitsa N. O., 2022



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из основных проблем в строительной отрасли является современная и энергоэффективная теплозащита зданий, исходя из этого, актуальной задачей является создание и разработка новых эффективных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных строительных материалов для зданий и сооружений [1, 2, 3].

На данный момент торфяная промышленность в Российской Федерации имеет низкие показатели по добыче торфяного сырья, запасы которого считаются неисчерпаемыми. Для потенциального развития торфяной отрасли на территории Сибирского региона может быть организовано производство современных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов на основе местного сырья, залегающего в месторождениях Томской области. Применение низинного торфа и вспученного вермикулита для создания нового конкурентного материала может способствовать повышению экономического и промышленного престижа региона, что приведет к открытию новых рабочих мест¹.

Ранее нами были проведены исследования торфовермикулитовых смесей для производства гранулированного материала, обладающего высокими теплоизоляционными свойствами, которые в свою очередь могут быть применены для строительства малоэтажных зданий. Рассмотрена возможность производства гранулированного теплоизоляционного материала на основе торфовермикулитовой смеси, проанализированы различные методы грануляции. В ходе исследований был установлен способ снижения водопоглощения гранул до 16% и увеличения их прочности на 20%, заключающийся в активации воды затворения гидрофобизирующей добавкой «Аквасил» [4].

Торф имеет уникальные свойства, низкую плотность и малую теплопроводность, данные показатели обуславливают целесообразность его использования в качестве заполнителя для легких бетонов. При проектировании различных составов и технологических режимов можно достичь высоких показателей, улучшающих структуру материала, снижения коэффициента теплопроводности и увеличения звукопоглощения легкого бетона. Анализ литературных и экспериментальных данных в ранее проведенных исследованиях показал, что применение гипсовых вяжущих для получения легких бетонов является эффективным. Необходимо отметить, что гипсовое вяжущее при взаимодействии с водой образует слабокислую среду, которая не приводит к выделению из торфа веществ, негативно влияющих на основные физико-химические свойства полученного материала^{2,3,4}. [5, 6]. В настоящее время в качестве перспективных направлений использования торфовермикулитовых гранул можно рассматривать их применение как эффективного структурообразующего компонента для производства легких бетонов на основе гипсовых вяжущих. При введении в смесь формообразующих фракций гранулированного заполнителя можно получить композиционный материал с улучшенными теплотехническими характеристиками, которые позволят соответствовать основным энергосберегающим требованиям, предъявляемым к современным конструкционно-теплоизоляционным материалам.

За счет введения формообразующих фракций гранулированного заполнителя может быть получен материал с улучшенными теплофизическими характеристиками, что весьма важно учитывать при нынешних тенденциях к энергосбережению при ужесточении норм проектирования ограждающих конструкций⁵

¹ Горколыцева Д. С. Исследование гранулированного материала на основе торфовермикулитовой смеси / Д. С. Горколыцева, А. В. Мелак-Оглы // материалы Международного симпозиума. Томск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2020. С. 35–39.

² Виталова Н. М. Физико-механические характеристики композиционных теплоизоляционных плит из торфа / Н. М. Виталова, П. П. Гуюмджян, Н. Л. Марабаев // XVII Международная науч. - техн. конференция «Информационная среда вуза». Иваново, 2010. С. 88–91.

³ Виталова Н.М. Эффективные строительные материалы на основе торфа с улучшенными теплотехническими свойствами: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, Иваново, 2012. С. 71–84.

⁴ Смирнова О. Е. Гранулированный заполнитель на основе растительного сырья / О. Е. Смирнова, А. П. Пичугин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.; редколлегия: М. Е. Лустенков [и др.]. 2020. С. 140–141.

⁵ Хританков Н. О. Лёгкие бетоны с гранулированным органическим заполнителем, направленно изменяемой структурой и микроармирующими минеральными добавками: дис. ... д-р техн. наук: 05.23.05. Томск, 2009. 375 с.

[7, 8]. В статье рассмотрена возможность производства легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул.

Цель исследования – разработка композиционного материала на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул, обладающего удовлетворительными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе были использованы следующие материалы: низинный торф месторождений Томской области, удовлетворяющий требованиям ГОСТ Р 52067–2003, вермикулит вспученный марки ВВТ-150, соответствующий ГОСТ 12865–67, разработанный научно-производственным объединением «Завод композиционных строительных материалов» (г. Томск). В качестве заполнителя использовались торфовермикулитовые гранулы на основе торфопасты и вспученного вермикулита. В качестве вяжущего применялся строительный гипс β -модификации марки Г-5, GS-52, (ГОСТ 125–2018) завода «Геркулес-Сибирь» (г. Новосибирск). Вода затворения (ГОСТ 23732–2011).

Гипсобетонная смесь готовилась из гипсового теста нормальной густоты и заполнителя – торфовермикулитовых гранул округлых

форм (размер гранул 3–10 мм) в разных соотношениях и с разным В/Т. Отформованные образцы твердели в воздушно-влажных условиях ($T = 20\text{--}22\text{ }^\circ\text{C}$, $W = 60\text{--}70\%$) и испытывались на прочность.

Измерение плотности полученного материала производилось в соответствии с ГОСТ 17177–94. Определение прочности образцов при сжатии и при изгибе и определение процента влажности образцов осуществлялось по ГОСТ 23789–2018.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Значительное влияние на изменения структурных и механических свойств легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул зависит от соотношения компонентов смеси и способа перемешивания.

Структура проектируемых легких бетонов представлена в виде каркасной системы, в которой каркасообразующий материал – торфовермикулитовые гранулы, связующий компонент – гипсовое вяжущее. В работе представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию содержания торфовермикулитовых гранул в гипсовой смеси на физико-механические свойства легкого бетона, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1
Физико-механические свойства легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул
Источник: составлено авторами.

Table 1
Physical and mechanical properties of lightweight concrete based on gypsum binders and peat vermiculite granules
Source: Compiled by the authors.

№	Содержание торфовермикулитовых гранул и гипса, % по массе	Средняя плотность, кг/	Влажность после распалубки, %	Предел прочности, МПа	
				при изгибе	при сжатии
Контр.	100	1210	19,5	4,7	6,1
1	10:90	1190	25,0	3,6	4,9
2	20:80	1100	30,0	2,9	3,7
3	30:70	916	35,5	2,05	2,85
4	40:60	850	39,5	1,4	2,20
5	50:50	680	44,5	1,5	1,60
6	60:40	603	39,5	0,50	0,82
7	70:30	530	44,0	0,30	0,62
8	80:20	460	51,0	0,22	0,44
9	90:10	378	55,0	0,15	0,40

По результатам проведенных исследований, представленных в таблице 1, видно, как снижаются значения средней плотности и прочности образцов при изгибе и при сжатии в случае увеличения содержания торфовермикулитовых гранул в композите, также необходимо отметить, что после распалубки увеличивается влажность образцов, это обусловлено накопленной заполнителем влагой. Для снижения влажности изделий на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых следует производить тепловую обработку в условиях, способствующих испарению воды из композита.

Результаты показали, что при плотности 530–850 кг/ прочность при изгибе составляет 0,30–1,4 МПа и при сжатии 0,62–2,40 МПа, полученный материал соответствует основным техническим требованиям теплоизоляционных легких бетонов класса В0,75-В1. (ГОСТ 25820–2014). При плотности 916–1190 кг/ прочность при изгибе составляет 2,1–3,6 МПа и при сжатии 3,2–4,9 МПа, полученный материал соответствует основным техническим требованиям конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов класса В1-В2. (ГОСТ 25820–2014). Следует отметить, что прочностные характеристики достигаются при меньшем значении средней плотности, это делает материал более эффективным по сравнению с известными аналогами, такими как цементовермикулитовые и цементоперлитовые плиты.

Влажность образцов после распалубки зависит от содержания гранул в композите, при соотношении торфовермикулитовые гранулы: гипс 20:80, влажность после распалубки равна 30%, при 80:20 – 51%. Необходимо отметить, что при 30:70 достигаются оптимальные физические свойства по прочности, плотности и влажности при распалубке⁶ [9, 10].

Установлено, что при увеличении содержания гранул снижается средняя прочность материала, при наименьшем содержании гипсового вяжущего в композите соответственно уменьшаются контакты частиц торфовермикулитовых гранул в легком бетоне, из-за этого структурная система становится более подвижной и способствует появлению дефектов и трещин в полученном образце.

При увеличении гипсового вяжущего повышается средняя плотность и прочность композита. Согласно ГОСТ 32496–2013 допускается использование частиц с размерами от 3 до 10 мм.

Представленные результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о том, что для достижения требуемых физико-механических свойств проектируемых легких бетонов на основе гипсового вяжущего и торфовермикулитовых гранул следует применять частицы размерами до 4–5 мм. Увеличение размера частиц заполнителя более 5 мм приведет к снижению средней прочности композита.

Это объясняется перераспределением внутренних усилий в композите, который в значительной мере зависит от соотношения жесткостей или модулей деформации его компонентов. Частицы торфовермикулитового гранулированного заполнителя менее жесткие, чем обволакивающая их гипсовая матрица. Если модуль деформации частиц торфовермикулитовых гранул ниже модуля затвердевшего гипсового камня, то полученный композит практически не может достичь прочности вяжущего. Следовательно, с увеличением модуля деформации торфовермикулитового гранулированного заполнителя возрастает прочность изготовленного на его основе композиционного материала [11,12].

Вода затворения оказывает особое влияние на физико-механические свойства легкого бетона на основе гипсового вяжущего и торфовермикулитовых гранул. Необходимо отметить, что при активном перемешивании происходят структурные изменения составляющих компонентов смеси и свойств воды, что впоследствии влияет на прочностные характеристики материала. Экспериментально установлено существование связи между количеством воды затворения и прочностью легкого бетона, при котором достигается максимальное значение при минимальной средней плотности, для образцов состава 3 «торфовермикулитовые гранулы – гипс» 1:1,5 при количестве воды затворения 15% (рисунок).

⁶ Горколыцева Д. С. Гранулированный материал на основе торфовермикулитовой композиции применительно к деревянным конструкциям зданий // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2021. С. 29–31.

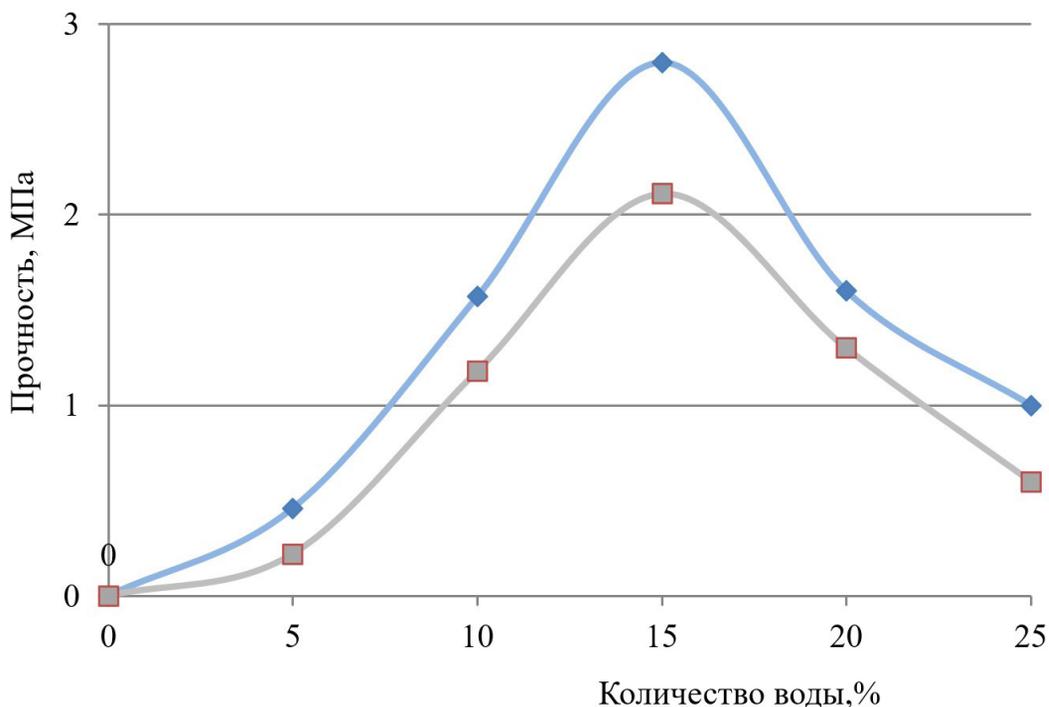


Рисунок – Влияние количества воды на предел прочности легкого бетона:
1 – при сжатии; 2 – при изгибе
Источник: Составлено авторами.

Figure – Influence of the amount of water on the tensile strength of lightweight concrete,
1 - in compression; 2 - when bending
Source: compiled by the authors.

Исходя из результатов исследования физико-механических свойств полученных легких бетонов, необходимо выделить главные требования, предъявляемые к проектируемому составу:

- наименьшее значение средней плотности при максимальных теплоизоляционных характеристиках;
- соответствующие значения прочности при сжатии и при изгибе для технологического обеспечения эксплуатационных свойств конструкционно-теплоизоляционных материалов;
- гидрофобность и водостойкость;
- огнестойкость⁷ [12].

Одним из важных технологических процессов в приготовлении легких бетонов исследуемого состава является эффективность

способа смешивания компонентов бетонной смеси для гомогенного распределения частиц гипсового теста на поверхности торфовермикулитовых гранул. Эффективность перемешивания зависит от способности компонентов взаимодействовать между собой. Количество воды в экспериментальных исследованиях подбиралось в процентном соотношении. В работе исследованы три способа смешивания компонентов легкого бетона, представленные в таблице 2.

Первый способ – в лабораторный смеситель последовательно загружаются и смешиваются между собой торфовермикулитовые гранулы и гипс, далее добавляется вода затворения, после чего смесь перемешивается до однородного состояния.

⁷ Виталова Н. М. Эффективные строительные материалы на основе торфа с улучшенными теплотехническими свойствами: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Виталова Нина Михайловна; [Иван. гос. архитектур-строит. ун-т]. Иваново, 2012. 19 с.

Таблица 2
Способы перемешивания легкого бетона на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул
 Источник: составлено авторами.

Table 2
Methods for mixing lightweight concrete based on gypsum binders and peat vermiculite
 Source: compiled by the authors.

Способ перемешивания	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	
		при изгибе	при сжатии
1	580	0,64	0,92
2	610	0,55	0,91
3	620	0,76	1,34

Второй способ – в лабораторном смесителе готовится гипсовое тесто, затем добавляются торфовермикулитовые гранулы, полученная смесь перемешивается до однородного состояния.

Третий способ – в лабораторном смесителе готовится гипсовое тесто, торфовермикулитовые гранулы предварительно смачиваются частью воды затворения для их насыщения и добавляются в гипсовое тесто, полученная смесь перемешивается.

Из данных таблицы 2 видно, что разные способы приготовления гипсобетонной смеси приводят к различным свойствам затвердевшего гипсобетона. Из приведенных данных видно, что максимальное значение прочности достигается при третьем способе перемешивания

компонентов. Необходимо сказать, что увеличение или уменьшение рационального времени и интенсивности перемешивания приводит к ухудшению качества смеси, что в конечном итоге влияет на физико-механические свойства полученных легких бетонов. Так, например, при увеличении продолжительности перемешивания торфогипсовой смеси более 7 мин слабые частицы заполнителя разрушаются, в результате чего меняется гранулометрический состав исходных компонентов^{8,9,10,11,12} [13, 14]. При уменьшении времени перемешивания ухудшается качество материала за счет снижения гомогенности. Существенно снижается качество легкого бетона также, когда появляется недостаток воды и гипсового вяжущего. Показатель подвижности смеси, в

⁸ Виталова Н. М. Исследование процесса структурообразования торфяного композита / Н. М. Виталова, Л. Марабаев // XVIII Международная науч. - техн. конференция «Информационная среда вуза». Иваново, 2011. С. 186–189.

⁹ Горколыцева Д. С., Копаница Н. О. Гранулированный материал из торфовермикулитовой смеси для легких бетонов // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 353–358.

¹⁰ Горколыцева Д. С. Исследование физико-механических свойств теплоизоляционных материалов на основе торфа // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Д. С. Горколыцева. Томск: Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2020. С. 36–38.

¹¹ Смирнова О. Е., Пичугин А. П. Исследование прессованных теплоизоляционных материалов // Материалы III Международной научно-практической конференции. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ООО Лакокрасочный завод «Колорит». 2020. С. 230–237.

¹² Горколыцева Д. С. Исследование и обоснование компонентного состава теплоизоляционного материала на основе торфа применительно к купольному строительству // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. С. 40–42.

свою очередь, зависит от вида заполнителя, его гранулометрического состава, расхода и вида вяжущего вещества. Для получения необходимой пластичности торфогипсовой смеси и нужной прочности затвердевшего легкого бетона требуется не только тщательный подбор состава из качественных заполнителей, но и соблюдение их точного дозирования. Компоненты должны быть тщательно перемешаны при определенной интенсивности процесса. Именно такое строгое соблюдение технологических параметров процесса позволит получить конечный продукт с заранее заданными свойствами.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты проведенных исследований позволили определить основные требования к проектируемому составу легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул. Результаты проведенных исследований позволили определить, что при увеличении содержания торфовермикулитовых гранул в композите снижаются значения средней плотности и прочности образцов при изгибе и при сжатии, также необходимо отметить, что после распалубки увеличивается влажность композита. Результаты показали, что при плотности 530–850 кг/ прочность при изгибе составляет 0,30–1,4 МПа и при сжатии 0,62–2,40 МПа, полученный материал соответствует основным техническим требованиям теплоизоляционных легких бетонов класса В0,75–В1. (ГОСТ 25820–2014). При плотности 916–1190 кг/ прочность при изгибе составляет 2,1–3,6 МПа и при сжатии 3,2–4,9 МПа, полученный материал соответствует основным техническим требованиям конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов класса В1–В2. (ГОСТ 25820–2014).

Анализируя данные эксперимента, можно сделать вывод о том, что для достижения требуемых физико-механических свойств проектируемых легких бетонов на основе гипсового вяжущего и торфовермикулитовых гранул следует применять частицы размерами до 4–5 мм.

Экспериментальными исследованиями определено соотношение компонентов легких бетонов, при котором достигается максимальное значение их прочности при минимальной средней плотности – «торфовермикулитовые гранулы: гипс» 1:1,5 при количестве воды затворения 15%.

Из приведенных данных можно утверждать, что разрабатываемые легкие бетоны на осно-

ве гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул обладают удовлетворительными физико-механическими свойствами, исходя из этого возможно получение композиционных изделий с наилучшими теплоизоляционными и конструкционно-теплоизоляционными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копаница Н. О. Теплоизоляционные торфодревесные строительные материалы / Н. О. Копаница, А. И. Кудяков, М. А. Ковалева. Томск: STT, 2009. 183 с.
2. Копаница Н. О., Кудяков А. И., Саркисов Ю. С. Строительные материалы и изделия на основе модифицированных торфов Сибири. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2013. 295 с.
3. Копаница Н. О., Ковалева М. А. Исследование вяжущих свойств низинных торфов // Вестник ТГАСУ. 2012. № 4. С. 153–158.
4. Горколыцева Д. С., Копаница Н. О. Торфовермикулитовые смеси для производства теплоизоляционного гранулированного материала // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021;23(5):93-104. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2021-23-5-93-104>
5. Гуюмджян П. П., Ветренко Т. Г., Виталова Н. М. Производство экологически безопасных строительных материалов на основе торфа и гипса // Вестник МГСУ. 2012. № 1. С. 94–99.
6. Пичугин А. П., Хританков В. Ф., Смирнова О. Е. Строительные материалы из растительного сырья: монография. НГАУ, 2020. 207 с.
7. Аветов Н. А., Кузнецов О. Л., Шишконокова Е. А. Опыт использования классификации и диагностики почв России в систематике торфяных почв биогеоценозов олиготрофных болот северо-таежной подзоны Западной Сибири // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2019. № 4. С. 37–47.
8. Пичугин А. П. Ресурсы и местное сырье в строительном материаловедении / А. П. Пичугин, А. С. Денисов, Х. В. Фишер // Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 1 (15). С. 38–6.
9. Виталова Н. М. Использование торфа для изготовления теплоизоляционных плит // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 8. С. 68–71.
10. Kurmangaliev A. I., Anikanova L. A., Volkova O. V., Kudyakov A. I., Sarkisov Yu. S., Abzaev Yu. A. Activation of hardening processes of fluorogypsum compositions by chemical additives of sodium salts // ChemChemTech. 2020. Т. 63. No 8. pp. 73-80.
11. Кудяков А. И., Копаница Н. О., Прищепа И. А., Шаньгин С. Н. Конструкционно-теплоизоляционные пенобетоны с термомодифицированной торфяной добавкой // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №1 (38). С. 172–177.
12. Malik S. S., Fasih A. K., Yasir I. B., Fayaz A. K., Muhammad F., Asim A., Waqas A., Evaluation of Mechanical Properties of Lightweight Concrete with

Pumice Aggregate, Adv. Sci. Technol. Res. J. 2021; 15(2):30–38.

13. Pykin A. A., Gornostaeva E. Y., Lukutsova N. P., Pykina J. S. Lightweight Concrete Based on Gypseous Binding Materials, Modified with Microcrystalline Cellulose, and Cavitationly Processed Sawdust, Materials Science Forum. 2019. pp.188-192.

14. Smirnova O. E., Pichugin A. P. Structural and thermal insulation products based on vegetable raw materials // Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety - 2. Building Materials and Products. 2019. C.20-24.

REFERENCES

1. Kopanica N. O., Kudjakov A. I., Kovaleva M. A. Teploizoljacionnye torfodrevesnye stroitel'nye materialy [Heat-insulating peat-wood construction materials]. Tomsk: STT, 2009. 183 p. (in Russ.)

2. Kopanica N. O., Kudjakov A. I., Sarkisov Ju. S. Stroitel'nye materialy i izdelija na osnove modificirovannyh torfov Sibiri [Building materials and products based on modified peat in Siberia]. Tomsk: Izd-vo TGASU, 2013. 295 p. (in Russ.)

3. Kopanica N. O., Kovaleva M. A. Issledovanie vjashushhijh svojstv nizinyh torfov [Study of the binding properties of lowland peat]. Vestnik TGASU. 2012; 4: 153–158. (in Russ.)

4. Gorkol'ceva D. S., Kopanica N. O. Torfovermikulitovye smesi dlja proizvodstva teploizoljacionnogo granulirovannogo materiala [Peat-vermiculite mixtures for the production of heat-insulating granular material]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2021; 23 (5):93-104. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2021-23-5-93-104> (in Russ.)

5. Gujumdzhjan P. P., Vetrenko T. G., Vitalova N. M. Proizvodstvo jekologicheski bezopasnyh stroitel'nyh materialov na osnove torfa i gipsa [Production of environmentally friendly building materials based on peat and gypsum]. Vestnik MGSU. 2012; 1: 94–99. (in Russ.)

6. Pichugin A. P., Hritankov V. F., Smirnova O. E. Stroitel'nye materialy iz rastitel'nogo syr'ja. Monografiya [Building materials from vegetable raw materials. Monograph]. NGAU, 2020. 207 p. (in Russ.)

7. Avetov N. A., Kuznecov O. L., Shishkonakova E. A. Opyt ispol'zovanija klassifikacii i diagnostiki pochv Rossii v sistematike torfjanyh pochv biogeocenzov oligotrofnih bolot severo-taezhnoj podzony Zapadnoj Sibiri [Experience in the use of Russian soil classification and diagnostics in the systematics of peat soils in biogeocenoses of oligotrophic bogs in the north taiga subzone of Western Siberia]. Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 17, pochvovedenie. 2019; 4: 37-47. (in Russ.)

8. Pichugin A. P., Denisov A. S., Fisher X. V. Resursy i mestnoe syr'e v stroitel'nom materialovedenii.

Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost'. 2019; 1 (15): 38-6. (in Russ.)

9. Vitalova N. M. Ispol'zovanie torfa dlja izgotovlenija teploizoljacionnyh plit [The use of peat for the manufacture of heat-insulating plates]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2011; 8: 68 - 71. (in Russ.)

10. Kurmangaliev A. I., Anikanova L. A., Volkova O. V., Kudyakov A. I., Sarkisov Yu. S., Abzaev Yu. A. Activation of hardening processes of fluorogypsum compositions by chemical additives of sodium salts. ChemChemTech. 2020; T. 63. No 8: 73-80.

11. Kudjakov A. I., Kopanica N. O., Prishhepa I. A., Shan'gin S. N. Konstrukcionno-teploizoljacionnye penobetony s termomodificirovannoj torfjanoj dobavkoj [Structural and thermally insulating foam concrete with thermally modified peat additive]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2013; 1 (38): 172-177. (in Russ.)

12. Malik S. S., Fasih A. K., Yasir I. B., Fayaz A. K., Muhammad F., Asim A., Waqas A., Evaluation of Mechanical Properties of Lightweight Concrete with Pumice Aggregate, Adv. sci. Technol. Res. J. 2021; 15(2):30–38.

13. Pykin A. A., Gornostaeva E. Y., Lukutsova N. P., Pykina J. S. Lightweight Concrete Based on Gypseous Binding Materials, Modified with Microcrystalline Cellulose, and Cavitationly Processed Sawdust, Materials Science Forum. 2019: 188-192.

14. Smirnova O. E., Pichugin A. P. Structural and thermal insulation products based on vegetable raw materials. Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety - 2. Building Materials and Products. 2019: 20-24.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Копаница Н. О. Формулировка направления и темы исследования, подбор теоретической базы для проведения эксперимента. Контроль и консультирование по вопросам эксперимента и написанию статьи.

Горкольева Д. С. Проведение экспериментов. Организация и расшифровка данных физико-химических методов исследования цементных композиций, написание, редактирование и оформление статьи.

COAUTHOR'S CONTRIBUTION

Natalia O. Kopanitsa. Statement of a research area, selection of a theoretical basis for the experiment. Managing and consulting on the questions of the experiment and writing the article.

Dinara S. Gorkoltseva. Conducting experiments. Organisation and interpretation of the data of physical and chemical methods for the study of cement compositions, writing, editing and design of the article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Копаница Наталья Олеговна – д-р. техн. наук, проф. кафедры строительных материалов и технологий.

Горколыцева Динара Сергеевна – аспирант 4-го года обучения кафедры строительных материалов и технологий.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Natalia O. Kopanitsa – Dr. of Sci., Professor of the Building Materials and Technologies Department.

Dinara S. Gorkoltseva – 4-year postgraduate student of the Building Materials and Technologies Department.