

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 691.3:666.972:662.613.11

DOI: 10.22227/2305-5502.2022.4.5

Термомодифицированная торфяная добавка для цементных систем из сырья Калининградской области

Мария Александровна Дмитриева, Вениамин Владимирович Когай,
Владимир Нояхович Лейцин, Алина Дмитриевна Панфилова,
Анастасия Вячеславовна Пузатова, Софья Руслановна Сокольникова
*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта);
г. Калининград, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью является исследование влияния термомодифицированной торфяной добавки, научное обоснование применения которой представлено в трудах профессора Н.О. Копаницы и ее коллег, полученной из сырья Калининградской области, на подвижность, влагоудерживающую способность смеси и на прочностные характеристики мелкозернистого бетона.

Материалы и методы. Добавка изготавливалась из низинного торфа карьера Глушково Калининградской области. Сырье подвергалось термической обработке с ограниченным доступом кислорода.

Результаты. Установлено увеличение подвижности и водоудерживающей способности смесей с 4 и 8 % добавки. Увеличение прочности бетонных образцов с 4 и 8 % добавки на 21-е сутки при изгибе составило 9 % по сравнению с контрольным (5,5 МПа для контрольного состава и 6 МПа для составов с 4 и 8 % добавки), при сжатии — 23 % при использовании 8 % добавки (40,7 и 50,2 МПа для контрольного состава и с 8 % добавки соответственно).

Выводы. Представленные результаты исследования демонстрируют перспективные возможности улучшения физико-механических свойств бетонов с помощью термомодифицированных торфяных добавок на основе сырья Калининградской области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: торф, торфяное сырье, термообработка, добавки, подвижность смеси, влагоудерживающая способность, прочность при изгибе, прочность при сжатии

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность профессору Наталье Олеговне Копаница за идею проведения исследований на региональном сырье и полезные консультации.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дмитриева М.А., Когай В.В., Лейцин В.Н., Панфилова А.Д., Пузатова А.В., Сокольникова С.Р. Термомодифицированная торфяная добавка для цементных систем из сырья Калининградской области // Строительство: наука и образование. 2022. Т. 12. Вып. 4. Ст. 5. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.4.5

Автор, ответственный за переписку: Дмитриева Мария Александровна, admitrieva@kantiana.ru.

Thermally modified peat additive for cement systems made using raw materials from the Kaliningrad region

Maria A. Dmitrieva, Veniamin V. Kogay, Vladimir N. Leitsin, Alina D. Panfilova,
Anastasiia V. Puzatova, Sofia R. Sokolnikova
Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU); Kaliningrad, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The purpose of this work is to study the thermally modified peat additive, the use of which is scientifically justified in the works of professor N.O. Kopanitsa and her colleagues. This additive is extracted from the raw materials from the Kaliningrad region, and the authors focus on its effect on the consistency, moisture-retaining capacity of the mix, and the strength characteristics of fine-grained concrete.

Materials and methods. The additive was made from lowland peat extracted from the Glushkovo quarry in the Kaliningrad region. Raw materials were subjected to thermal treatment with limited access of oxygen.

Results. The authors have proven an increase in the consistency and water-retaining capacity of mixes that have 4 and 8 % additive. On the 21 day, an 9 % increase in the flexural strength of concrete specimens with the 4 and 8 % additive was

registered in comparison with the benchmark specimen (5.5 MPa for the benchmark mix and 6 MPa for the 4 and 8 % additive); an increase in compression strength reached 23 % when the 8 % additive was used (40.7 and 50.2 MPa for the benchmark mix and the one that contains the 8 % additive, respectively).

Conclusions. The presented results of the research show a strong potential for the improvement of physical-mechanical properties of concretes by using thermally modified peat additives made from the local raw materials extracted in the Kaliningrad region.

KEYWORDS: peat, peat raw material, heat treatment, additives, mix consistency, water-retaining capacity, flexural strength, compressive strength

Acknowledgements. The authors express their sincere gratitude to Prof. Natalia Olegovna Kopanitsa for the very idea of research into local raw materials and her helpful advice.

FOR CITATION: Dmitrieva M.A., Kogay V.V., Leitsin V.N., Panfilova A.D., Puzatova A.V., Sokolnikova S.R. Thermally modified peat additive for cement systems made using raw materials from the Kaliningrad region. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2022; 12(4):5. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.4.5

Corresponding author: Maria A. Dmitrieva, admitrieva@kantiana.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время бетон является одним из наиболее широко используемых строительных материалов, основными преимуществами которого являются цена и универсальность применения. Благодаря правильно подобранному составу и использованию добавок удается достичь необходимых свойств бетона для строительства как классических зданий, так и специальных сооружений [1–4]. В связи с этим разработка и усовершенствование добавок для бетона является актуальной задачей [5]. При этом перспективным представляется использование местного сырья, особенно в районах с дорогой или сложной логистикой [6] и с целью импортозамещения.

Запасы торфяного сырья в различных регионах Российской Федерации [7, 8] разнообразны по составу: торф содержит множество функциональных групп, включающих как органические, так и минеральные соединения, что позволяет использовать различные способы его модификации с целью получения продуктов разного вещественного состава [9, 10].

В исследованиях [11–14] установлено, что одним из наиболее эффективных способов получения модифицирующих добавок из торфяного сырья является его термоактивация, при этом режим термообработки оказывает значительное влияние на получаемый продукт. При температуре до 200 °С торф содержит преимущественно органические комплексы, от 200 до 400 °С — органоминеральные комплексы, от 400 до 600 °С — минералоорганические комплексы, свыше 600 °С — минеральные комплексы [15].

В работе [15] была проведена термомодификация торфа с ограниченным доступом кислорода при температуре 400 и 600 °С в течение 2–4 часов. Торфяное сырье добывалось в Сибирском регионе. Авторы отмечают увеличение прочности при сжатии до 16 % для добавки, модифицированной при 400 °С, и до 36 % в случае модификации при 600 °С относительно контрольного состава.

Авторами [16] было установлено увеличение прочности бетона до 54 % при использовании добавки, полученной путем термической обработки

низинного торфа при 600 °С без доступа кислорода. Скорость нагрева образцов составляла 10 °С/мин.

Стоит отметить, что в качестве модифицирующей добавки могут быть также использованы торфяные золы [17, 18]. В работе [19] были использованы золы с Усяжского и Лидского торфобрикетных заводов. Золы подсушивали при температуре (105 ± 5) °С, затем подвергали помолу в шаровой мельнице и испытывали. В качестве добавок в бетонной смеси были также использованы микрокремнезем и суперпластификатор. Максимальное увеличение прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом составило 148 %. Авторам [20] также удалось достичь значительного увеличения прочности бетона при использовании торфяной добавки с микрокремнеземом, микрокальцитом и наночастицами диоксида кремния.

Целью настоящей работы является исследование влияния термомодифицированной торфяной добавки, полученной из сырья Калининградской области, на подвижность и влагоудерживающую способность смеси, а также на прочностные характеристики мелкозернистого бетона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изготовления термомодифицированной торфяной добавки был использован низинный торф (месторождение: карьер Глушково, Калининградская область). Исходный торф высушивался до постоянной массы и просеивался. Затем торф был засыпан в стеклянные трубки длиной 22 см и диаметром 0,6 см. Концы трубок закрывались муллитокремниземистой ватой.

Заполненные трубки укладывались в стеклянную колбу длиной 380 мм и внутренним диаметром 45 мм. Колба закрывалась и устанавливалась в муфельную печь МПК-5, при этом к колбе подсоединялась трубка для отвода газообразных продуктов горения (рис. 1). Термообработка торфа производилась при следующем режиме: в течение 60 мин поднятие температуры до 600 °С, затем выдержка при 600 °С в течение 10 мин, снижение температуры.



Рис. 1. Установка для термической обработки торфа

Полученный материал просеивался через сито № 0,08. Для диспергирования добавки была использована высокоскоростная шаровая мельница Retsch EMAX. В размольные стаканы объемом 125 мл помещалось по 50 г добавки и по 100 г корундовых шаров диаметрами 10 и 5 мм (в соотношении 1:1). Режим активаций: 10 мин при 500 об/мин.

Удельная поверхность термомодифицированной добавки определялась на приборе Т-3 (Товарова) и составила свыше 5000 см²/г.

Определение насыпной плотности полученной добавки было проведено с помощью измерения массы добавки, заполняющей в неуплотненном состоянии сосуд заданного объема. Для измерения истинной плотности был использован прибор Ле Шателье. Насыпная плотность термомодифицированной добавки составила порядка 750 кг/м³, истинная плотность — 3260 кг/м³.

Добавка была исследована на стереомикроскопе Olympus SZX16 (рис. 2).

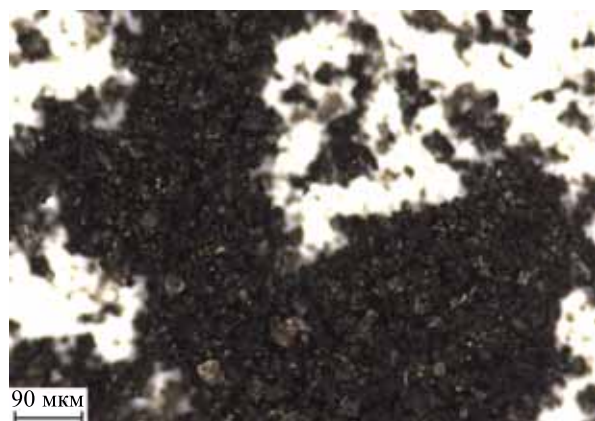


Рис. 2. Микроструктура термомодифицированной торфяной добавки

Для изготовления бетонных образцов был использован портландцемент М500 «Евроцем 500 Плюс» 42,5 Н производства ООО «Петербургцемент». Химико-минералогический состав цемента представлен в таблице.

Химико-минералогический состав цемента

Показатель	Значение
Оксид магния MgO, %	3,24
Трехкальциевый силикат C ₃ S, %	55,5
Двухкальциевый силикат C ₂ S, %	17,4
Трехкальциевый алюминат C ₃ A, %	6,6
Четырехкальциевый алюмоферрит C ₄ AF, %	11,6

В качестве инертного наполнителя использовался кварцевый строительный песок компании Klester System с модулем крупности 3,3.

Были изготовлены три группы образцов: 1) контрольная; 2) 4 % добавки от массы цемента; 3) 8 % добавки от массы цемента. Соотношения компонентов смеси: цемент/песок = 1/3, В/Ц = 1/2. Для изготовления смеси термомодифицированная добавка была перемешана с водой и затем полученный раствор добавлялся в сухую смесь песка и цемента.

Подвижность бетонных смесей была определена по ГОСТ 310.4-81¹. Водоудерживающая способность смесей определялась согласно ГОСТ 5802-86².

Для определения прочностных характеристик бетонов были изготовлены образцы-балочки размером 40×40×160 мм. Виброуплотнение смеси проводилось согласно ГОСТ 310.4-81¹. Время уплотнения составляло 3 мин с амплитудой вертикальных колебаний (0,35 ± 0,03) мм и частотой 3000 в минуту.

Образцы твердели при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности 90–95 %.

Определение прочностных характеристик проводилось согласно ГОСТ 310.4-81¹. Измерения проводились на 3, 7 и 21-е сутки твердения бетона на испытательной машине ToniNorm (ToniTechnik, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты определения подвижности смесей представлены на рис. 3. При использовании добавки наблюдается увеличение подвижности смеси со 108 мм для контрольного образца до 111 мм для образцов с 4 и 8 % добавки.

Как следует из полученных результатов, зависимость подвижности смеси от концентрации добавки после 4 % выходит на плато, поэтому дальнейшее увеличение концентрации добавки (свыше 8 %) в проведенном исследовании не рассматривалось.

Значение водоудерживающей способности каждой смеси представлено на рис. 4. В смесях с добавкой было зафиксировано увеличение водоудерживающей способности, при этом наибольшее значение 95,1 % было достигнуто образцом с 8 % добавки.

¹ ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. ИПК Издательство стандартов, 2003. 11 с.

² ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний. Стандартинформ, 2018. 17 с.

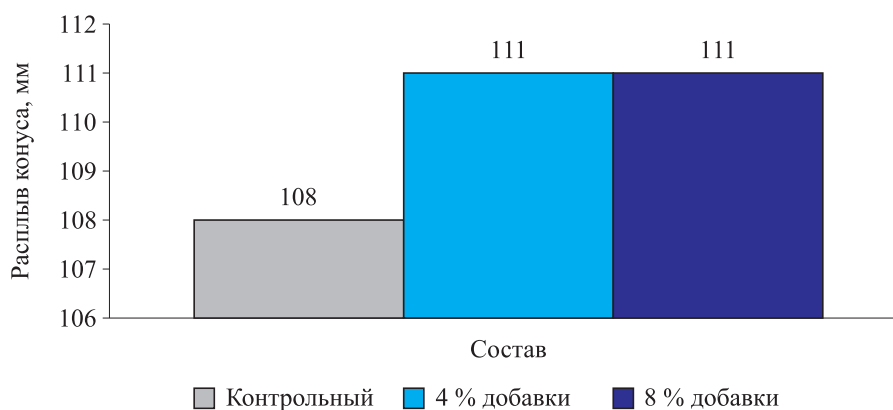


Рис. 3. Расплав конуса

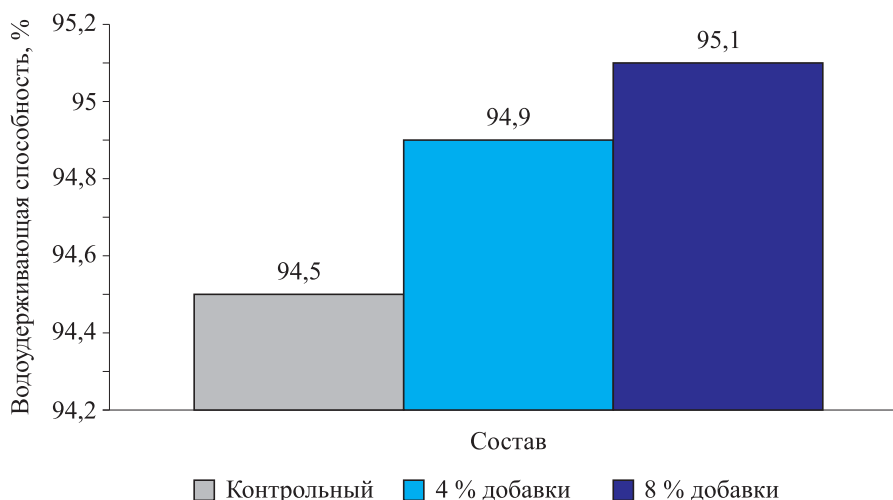


Рис. 4. Водоудерживающая способность смеси

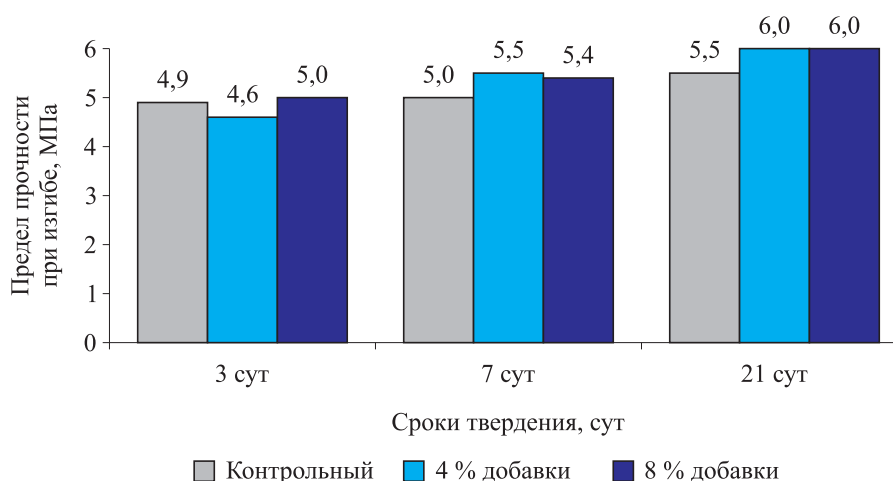


Рис. 5. Предел прочности при изгибе

Оценка влияния термомодифицированного торфа на прочностные характеристики бетона производилась по результатам испытаний образцов при изгибе и сжатии. Результаты определения прочности бетона при изгибе представлены на рис. 5. При испытаниях на 7-е сутки твердения бетонов зафиксировано увеличение прочности образцов с 4 % добав-

ки — на 10 % и образцов с 8 % добавки — на 8 % по сравнению с контрольным (5,0, 5,5 и 5,4 МПа для контрольного состава, с 4 и 8 % добавки соответственно). На 21-е сутки увеличение прочности образцов с 4 и 8 % добавки относительно контрольного составило 9 % (5,5 МПа для контрольного состава и 6 МПа для составов с 4 и 8 % добавки).

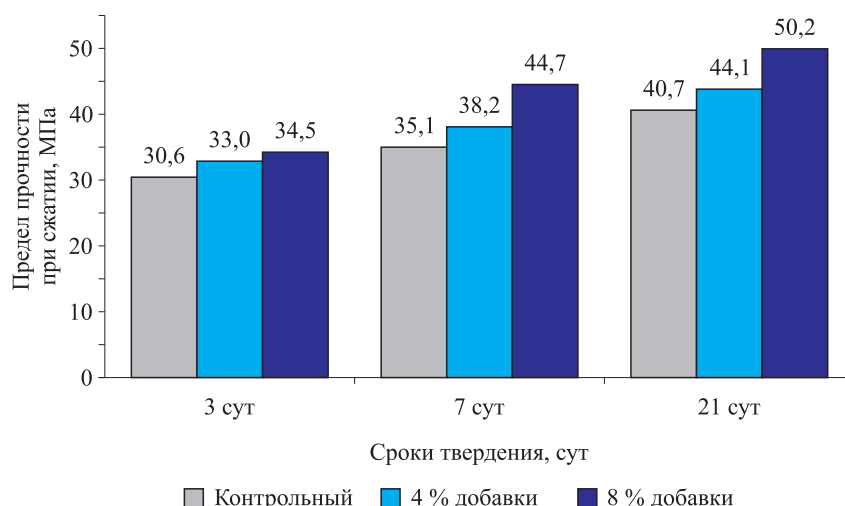


Рис. 6. Предел прочности при сжатии, МПа

Результаты испытаний образцов при сжатии представлены на рис. 6. Установлено увеличение прочности образцов с добавками на 3, 7 и 21-е сутки твердения. При этом наибольшее увеличение прочности на сжатие по сравнению с контрольным составом показал образец с 8 % добавки: на 3-и сутки — 13 % (30,6 и 34,5 МПа для контрольного состава и с 8 % добавки), на 7-е сутки — 27 % (35,1 и 44,7 МПа для контрольного состава и с 8 % добавки), на 21-е сутки — 23 % (40,7 и 50,2 МПа для контрольного состава и с 8 % добавки).

ВЫВОДЫ

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что термомодифицированная торфяная добавка, полученная из низинного торфа месторождения Калининградской области, оказывает положительное влияние на физико-механические свойства бетона. В серии проведенных экспериментов установлены увеличение подвижности смеси, что способствует формированию плотной структуры, и боль-

шая водоудерживающая способность, приводящая к более полному протеканию гидратации. Результаты испытаний образцов на изгиб и сжатие свидетельствуют об увеличении прочности бетонов как при использовании 4 %, так при 8 % добавки. Подобный эффект может быть связан с формированием более плотной пространственно организованной иерархической структуры при использовании торфяной добавки за счет направленного изменения адсорбционных, гидратационных процессов, а также кинетики зернообразования [21].

Таким образом, представленные результаты исследований демонстрируют перспективные возможности улучшения физико-механических свойств бетонов с помощью термомодифицированных торфяных добавок на основе сырья Калининградской области. При этом стоит отметить, что эффективность добавки зависит от условий термообработки, измельчения, состава торфа и использования дополнительных добавок [19, 20], режимы которых планируется оптимизировать в ближайшее время.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Leitsin V.N., Shershova L.V., Lenkova D.A., Kogay V.V. Innovative nanomodified fine-grained concrete for additive technologies // 4th international scientific and practical conference “Advanced Building Materials and Technologies 2021”. AIP Publishing, 2022. DOI: 10.1063/5.0116634
2. Ban C.C., Khalaf M.A., Ramli M., Ahmed N.M., Ahmad M.S., Alib A.M.A. Modern heavyweight concrete shielding: Principles, industrial applications and future challenges; review // Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 39. P. 102290. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.102290
3. Калашиников В., Тараканов О.В. О применении комплексных добавок в бетонах нового поколения // Строительные материалы. 2017. № 1–2. С. 62–67. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-primenenii-kompleksnyh-dobavok-v-betonah-novogo-pokoleniya>
4. Ильина Л.В., Бердов Г.И., Раков М.А., Гичко Н.О. Повышение морозостойкости бетона введением дисперсных минеральных добавок // Известия вузов. Строительство. 2016. № 6. С. 32–38.
5. Marvila M.T., Garcez de Azevedo A.R., Matos P.R., Monteiro S.N., Vieira C.M.F. Materials for production of high and ultra-high performance concrete: Review and perspective of possible novel materials // Materials. 2021. Vol. 14. Issue 15. P. 4304. DOI: 10.3390/ma14154304

6. Кузьмич Н.П. Расширение ресурсной базы строительного комплекса на основе применения местного сырья и энергоресурсоэффективных технологий // Проблемы современной экономики. 2012. № 2. С. 325–328.
7. Дегтярев К.С. Торф — недооцененный ресурс России // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2016. № 3(171). С. 44–51. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/torf-nedoocenennyi-resurs-rossii>
8. Касицкая Л.В., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П. Торфяные ресурсы Томской области и пути их использования в строительстве. Томск : SST, 2007. 290 с.
9. Kopanitsa N.O., Sarkisov Y.S., Kasatkina A.V. Methods for producing of cement mixes additives based on peat // Advanced Materials Research. 2015. Vol. 1085. Pp. 324–327. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1085.324
10. Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Демидов А.Б., Березкина Ю.В. Свойство бетона на основе модифицируемого высокодисперсного торфа // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 1(41). С. 61–67. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23057940>
11. Мисников О.С., Белугин Г.П. Свойства гидрофобномодифицированных цементов и материалов на их основе // Современные технологии сухих смесей в строительстве : сб. докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. СПб. : Алит, 2005. С. 28–30.
12. Мисников О.С., Тимофеев А.Е., Черток-ова Е.Ю. Гидрофобизация минеральных дисперсных материалов добавками на основе торфа // Труды Ин-сторфа. 2010. № 2 (55). С. 15–33.
13. Савельева Е.О. Оптимизация режима термической модификации торфоминеральных вяжущих материалов // Записки Горного института. 2009. Т. 181. С. 52–54.
14. Копаница Н.О., Кудяков А.И., Саркисов Ю.С., Касаткина А.В. Влияние термомодифицированного торфа на свойства цементных систем // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов : сб. тр. Белгород, 2010. С. 65–68.
15. Копаница Н.О., Касаткина А.В., Саркисов Ю.С. Новые органоминеральные добавки на основе торфа для цементных систем // Строительные материалы. 2015. № 4. С. 93–95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-organomineralnye-dobavki-na-osnove-torfa-dlya-tsementnyh-sistem>
16. Цветков Н.А., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Прищепа И.А., Зубкова О.А. Структурообразование цементного камня с добавкой термомодифицированного торфа // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 12(720). С. 52–61. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37350866>
17. Лиштван И.И., Ляхевич Г.Д., Дударчик В.М., Крайко В.М., Ануфриева Е.В., Смолячкова Е.А. Утилизация зольных отходов сжигания торфо-древесного и торфяного топлива с получением материалов строительного назначения // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : IV Междунар. науч. экологическая конф. Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет, 2015. С. 519–523. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23927749>
18. Костров В.В., Свиридов В.А., Цыбакин С.В., Дубровина Ю.Ю. Изучение химического состава и вопросов утилизации торфяной золы в производстве бетонов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2008. Т. 51. № 11. С. 52–55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11529474>
19. Ляхевич Г.Д., Ляхевич А.Г., Ортнер Д.В. Технология и эффективность использования торфяных зол в цементобетоне // Наука и техника. 2015. № 2. С. 16–23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23591880>
20. Демьяненко О.В., Куликова А.А., Копаница Н.О. Оценка влияния комплексной полифункциональной добавки на эксплуатационные характеристики цементного камня и бетона // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 139–152. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-139-152
21. Гувалов А.А., Кабусь А.В., Ушеров-Маршак А.В. Влияние органоминеральной добавки на раннюю гидратацию цемента // Строительные материалы. 2013. № 9. С. 94–95.

Поступила в редакцию 16 ноября 2022 г.

Принята в доработанном виде 5 декабря 2022 г.

Одобрена для публикации 5 декабря 2022 г.

О Б АВТОРАХ: **Мария Александровна Дмитриева** — доктор физико-математических наук, профессор ОНК «Институт высоких технологий»; **Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта)**; 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; SPIN-код: 9582-8995, ORCID: 0000-0002-9593-8653; admitrieva@kantiana.ru;

Вениамин Владимирович Когай — магистрант; **Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта)**; 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; ORCID: 0000-0002-2127-8998; vkogai@stud.kantiana.ru;

Владимир Нояхович Лейцин — доктор физико-математических наук, профессор ОНК «Институт высоких технологий»; **Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта)**; 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; SPIN-код: 4731-0628, ORCID: 0000-0002-6140-256X; vleitsin@kantiana.ru;

Алина Дмитриевна Панфилова — аспирант ОНК «Институт высоких технологий»; **Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта)**; 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14, SPIN-код: 3535-8391, ORCID: 0000-0002-1635-9371; ad.kogay@yandex.ru;

Анастасия Вячеславовна Пузатова — заведующая лабораторией строительных материалов ОНК «Институт высоких технологий»; **Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта)**; 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; SPIN-код: 9897-7603, ORCID: 0000-0002-3798-4969; asharanova@kantiana.ru;

Софья Руслановна Сокольников — магистрант; **Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта)**; 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; SPIN-код: 8761-0875, ORCID: 0000-0002-0896-4512; sokolsofy@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Currently, concrete is one of the most widely used construction materials, whose main advantages are price and versatile areas of application. The target properties of concrete, used to construct classical buildings and special structures, depend on its properly selected composition and use [1–4]. In this regard, the development and improvement of concrete additives is a relevant task [5]. Hence, the use of local raw materials seems promising, especially in the areas with expensive or problematic supply logistics [6] and for the purpose of import substitution.

The composition of peat reserves varies in different regions of the Russian Federation [7, 8]: peat contains many functional groups, including organic and mineral compounds that allow using various modification methods aimed at obtaining products having different material compositions [9, 10].

The authors of several studies [11–14] found that one of the most effective ways to obtain modifying additives from peat is its thermal activation; the mode of thermal treatment has a significant effect on the resulting product. At temperatures up to 200 °C peat contains mainly organic complexes, from 200 to 400 °C — organic-mineral complexes, from 400 to 600 °C — mineral-organic complexes, over 600 °C — mineral complexes [15].

In [15], peat was thermally modified with limited oxygen access at 400 and 600 °C for 2–4 hours. Peat raw materials were extracted in the Siberian region. The authors emphasize an increase in compressive strength up to 16 % for the additive modified at 400 °C and up to 36 % in the case of modification at 600 °C as compared to the benchmark composition.

The authors [16] found that an additive, obtained by the heat treatment of lowland peat at 600 °C without oxygen, increased the strength of concrete up to 54 %. The specimen heating rate was 10 °C/min.

It is noteworthy that peat ashes can also be used as a modifying additive [17, 18]. In [19] ashes from Usyazhsky and Lidsky peat briquette factories were used. The ashes were dried at (105 ± 5) °C, milled in a ball mill and tested. Micro-silica and a superplasticizer were also used as additives in the concrete mix. The maximum increase in compressive strength compared to the benchmark composition was 148 %. The authors [20] also managed to achieve a significant increase in the strength of concrete by using the peat additive that contained microsilica, micro-calcite and silica nanoparticles.

The purpose of the present work is to investigate the effect of a thermally modified peat additive obtained from raw materials of Kaliningrad region on the consistency and water-retaining capacity of the mix, as well as on the strength characteristics of fine-grained concrete.

MATERIALS AND METHODS

Lowland peat (deposit: Glushkovo quarry, Kaliningrad region) was used in the production of a thermally modified peat additive. The peat was dried to a constant weight and sieved. Then the peat was poured into glass tubes 22 cm long and 0.6 cm in diameter. The ends of the tubes were closed with mullite-silica wool.

Filled tubes were placed in a glass flask whose length was 380 mm and the inner diameter was 45 mm. The flask was closed and placed in a muffle furnace MPK-5; a tube for draining combustion gases was connected to the flask (Fig. 1). Peat was thermally treated as follows: during 60 minutes the temperature was raised to 600 °C; then it was held in the furnace at 600 °C for 10 minutes, after that the temperature was reduced.

The resulting material was sieved through a 0.08 sieve. The Retsch EMAX high-speed ball mill was used to disperse the additive. 50 g of the additive and 100 g of corundum balls with the diameters of 10 mm and

5 mm (in a 1:1 ratio) were placed in 125 ml grinding cups. Treatment mode: 10 minutes at 500 rpm.

The specific surface of the thermally modified additive was identified using unit T-3 (Tovarov), and it exceeded 5,000 cm²/g.



Fig. 1. Peat thermal treatment unit

The bulk density of the resulting additive was identified by measuring the mass of the uncompacted additive in the vessel of a pre-set volume. The Le Chatelier instrument was used to measure the true density. The bulk density of the thermally modified additive was about 750 kg/m³ and the true density was 3,260 kg/m³.

The additive was examined using the Olympus SZX16 stereomicroscope (Fig. 2).

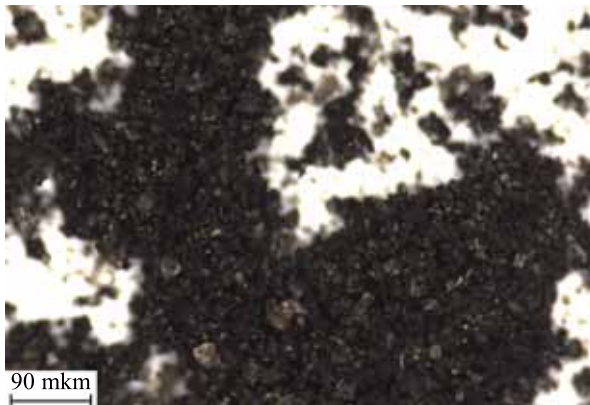


Fig. 2. Microstructure of thermally modified peat additive

Portland cement M500 “Eurocem 500 Plus” 42.5 H, produced by Peterburgcement LLC, was used to make concrete specimens. The chemical and mineralogical composition of cement is presented in Table.

The Klester System quartz sand with a grain size modulus of 3.3 was used as an inert filler.

Three groups of specimens were made: 1) the benchmark group; 2) the additive whose content reaches 4 % of the cement weight; 3) the additive whose content reaches 8 % of the cement weight. The mix component ratios are as follows: cement/sand = 1/3, V/C = 1/2. To make the mix, the thermally modified additive was mixed with water, and then the resulting mortar was added to the dry mix of sand and cement.

Chemical and mineralogical composition of cement

Component	Content
Magnesium oxide MgO, %	3.24
Tricalcium silicate C ₃ S, %	55.5
Dicalcium silicate C ₂ S, %	17.4
Tricalcium aluminate C ₃ A, %	6.6
Tetracalcium aluminoferrite C ₄ AF, %	11.6

The consistency of the concrete mixes was determined according to GOST 310.4-81¹. The water-retaining capacity of the mixes was identified according to GOST 5802-86².

To determine the strength properties of concrete, beam specimens, whose dimensions were 40×40×160 mm, were made. Vibrocompaction of the mix was carried out in accordance with GOST 310.4-81¹. The compaction time was 3 minutes with an amplitude of vertical vibrations of (0.35 ± 0.03) mm and a frequency of 3,000 per minute.

Specimens were cured at 20 ± 2 °C and 90–95 % relative humidity.

Strength properties were identified according to GOST 310.4-81¹. Measurements were made on the 3rd, 7th and 21st days of concrete curing using the Toni-Norm testing machine (ToniTechnik, Germany).

RESULTS

The consistency of mixes, identified by the authors, is shown in Fig. 3. When the additive is used, an increase in the consistency of the mix from 108 mm for the benchmark specimen to 111 mm for specimens with 4 and 8 % of the additive is observed.

It follows from the results that the dependence of the mix consistency on the concentration of the additive was levelled after 4 %, so a further increase in the additive concentration (over 8 %) was not considered in the study.

The value of the water retention capacity of each mix is shown in Fig. 4. An increase in the water retention capacity was observed in the mixes that contained the additive, with the highest value of 95.1 % achieved by the sample with an 8 % additive.

Evaluation of the effect of thermally modified peat on the strength characteristics of concrete was carried out according to the results of flexural and compression tests of specimens. The flexural strength of concrete is shown in Fig. 5. A test made on the 7th day of concrete curing showed a 10 % increase in the strength of specimens with a 4 % additive and an 8 % in-

¹ GOST 310.4-81. Cements. Methods of identifying strength limits in bending and compression. IPK Standards Publ., 2003; 11.

² GOST 5802-86. Cement mortars. Testing methods. Standard Inform Publ., 2918; 17.

crease in the strength of specimens with an 8 % additive compared to the benchmark specimens (5.0, 5.5 and 5.4 MPa for the benchmark specimen, with 4 and 8 % additive, respectively). On day 21 an increase in the strength of specimens with 4 and 8 % additives was 9 % in comparison with the benchmark ones (5.5 MPa for the benchmark specimen and 6 MPa for the specimens with 4 and 8 % additives).

The results of compression tests of the specimens are shown in Fig. 6. An increase in the strength of speci-

mens with additives on the 3rd, 7th and 21st days of curing was identified. The specimen with the 8 % additive showed the biggest increase in compressive strength in comparison with the benchmark specimen: 13 % (30.6 and 34.5 MPa for the benchmark specimen and with the 8 % of additive) on the 3rd day; 27 % (35.1 and 44.7 MPa for the benchmark specimen and with the 8 % additive) on the 7th day, 2 % (40.7 and 50.2 MPa for the benchmark specimen and with the 8 % additive) on the 21st day.

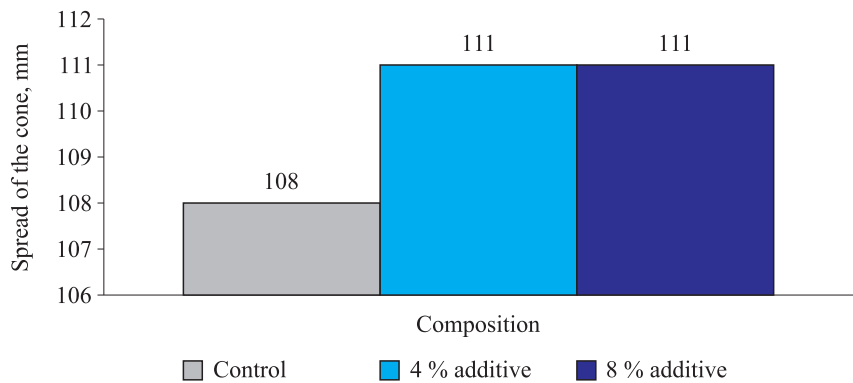


Fig. 3. Spread of the cone

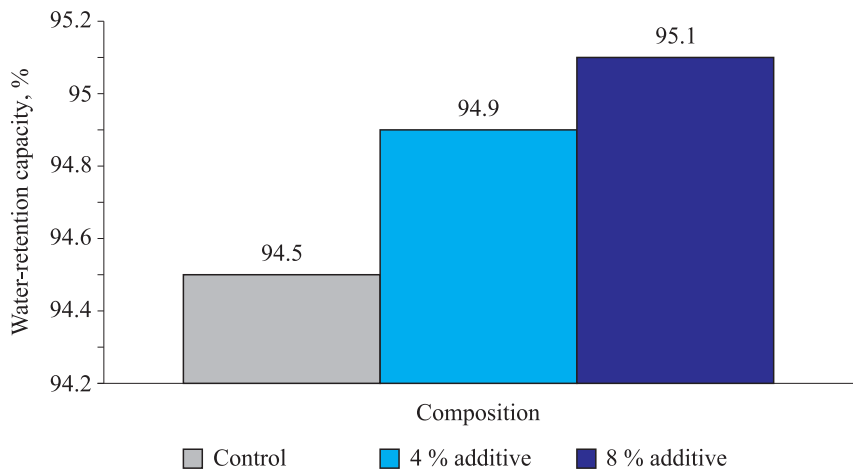


Fig. 4. Water retention capacity of the mix

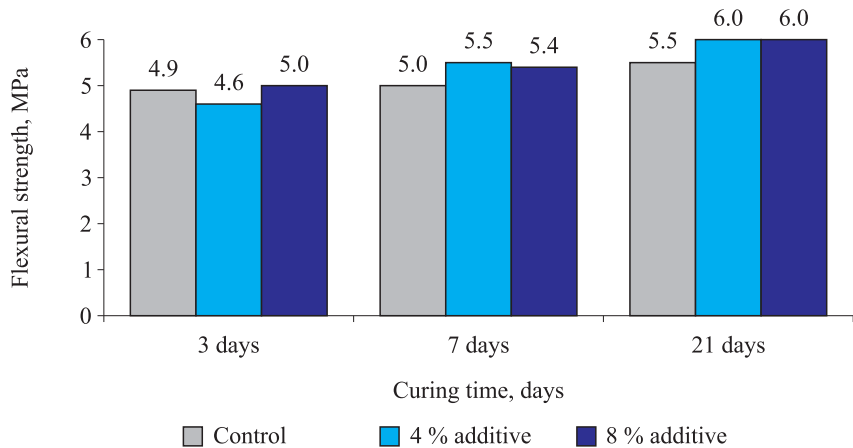


Fig. 5. Flexural strength

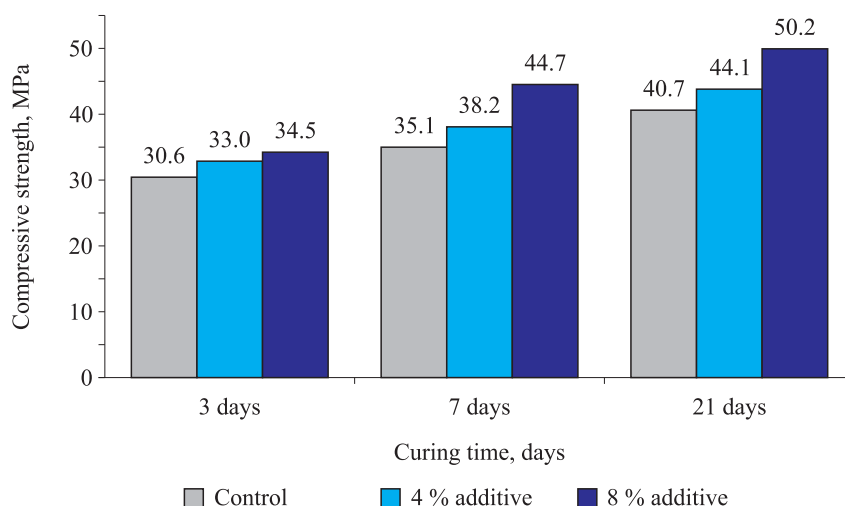


Fig. 6. Compressive strength, MPa

CONCLUSIONS

The conclusion, made on the basis of the obtained results, is that thermally modified peat additives made of lowland peat, extracted in the Kaliningrad region deposit, has a positive effect on the physical and mechanical properties of concrete. In a series of experiments an increase of the mix consistency, which contributes to the formation of a dense structure, and a large water-retaining capacity, leading to a more complete hydration, was identified. The results of flexural and compressive tests of specimens indicate an increase in the strength of concretes with both 4 and 8 % additive.

Such an effect may be associated with the formation of a denser hierarchical structure due to the intended change in the adsorption, hydration processes, as well as the kinetics of the grain formation [21].

Thus, the presented research results demonstrate promising opportunities for improving the physical and mechanical properties of concretes by means of thermally modified peat additives containing raw materials from the Kaliningrad region. It is noteworthy that the effectiveness of an additive depends on heat treatment and grinding conditions, the peat composition and the use of supplementary additives [19, 20] which is to be optimized in the near future.

REFERENCES

1. Leitsin V.N., Shershova L.V., Lenkova D.A., Kogay V.V. Innovative nanomodified fine-grained concrete for additive technologies. *4th International scientific and practical conference "Advanced building materials and technologies 2021"*. AIP Publishing, 2022. DOI: 10.1063/5.0116634
2. Ban C.C., Khalaf M.A., Ramli M., Ahmed N.M., Ahmad S.M., Alib A.M.A. Modern heavyweight concrete shielding: Principles, industrial applications and future challenges; review. *Journal of Building Engineering*. 2021; 39:102290. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.102290
3. Kalashnikov V.L., Tarakanov O.V. About the use of complex additives in concretes of a new generation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017; 1-2:62-67. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-primeneni-kompleksnyh-dobavok-v-betonah-novogo-pokoleniya> (rus.).
4. Ilina L.V., Berdov G.L., Rakov M.A., Gichko N.O. Improving the introduction frost concrete disperse mineral supplements. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2016; 6:32-38. (rus.).
5. Marvila M.T., Garcez de Azevedo A.R., Matos P.R., Monteiro S.N., Vieira C.M.F. Materials for Production of High and Ultra-High Performance Concrete: Review and Perspective of Possible Novel Materials. *Materials*. 2021; 14(15):4304. DOI: 10.3390/ma14154304
6. Kuzmich N.P. Broadening of the resource base in construction complex by the use of local raw material and energy-and-resource effective technologies. *Problems of Modern Economics*. 2012; 2:325-328. (rus.).
7. Degtyarev K.S. Peat is underestimated resource of Russia. *Plumbing, Heating, Air conditioning*. 2016; 171(3):44-51. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/torf-nedoochenennyy-resurs-rossii> (rus.).
8. Kasickaya L.V., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P. *Peat resources of the Tomsk region and ways of their use in construction*. Tomsk, SST Publ., 2007; 290. (rus.).
9. Kopanitsa N.O., Sarkisov Y.S., Kasatkina A.V. Methods for producing of cement mixes additives based on peat. *Advanced Materials Research*. 2015; 1085:324-327. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1085.324
10. Kosach A.F., Kuznecova I.N., Demidov A.B., Berezkina Yu.V. Manufacture of concrete

on the basis of modified finely dispersed peat. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2015; 41(1):61-67. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23057940> (rus.).

11. Misnikov O.S., Belugin G.P. Properties of hydrophobically modified cements and related materials. *Modern technologies of dry mixes in construction : Proceedings of the 7th International scientific and technical conference*. Saint-Petersburg, Alit Publ., 2005; 28-30. (rus.).

12. Misnikov O.S., Timofeev A.E., Chertkova E.Yu. Hydrophobization of mineral dispersed materials with peat-based additives. *Trudi Instorfa*. 2010; 55(2):15-33. (rus.).

13. Saveleva E.O. Optimization of the mode of thermal modification of peat-mineral binders. *Zapiski Gornogo Instituta [Journal of Mining]*. 2009; 181: 52-54. (rus.).

14. Kopanitsa N.O., Kudyakov A.I., Sarkisov Yu.S., Kasatkina A.V. Effect of thermally modified peat on the properties of cement systems. *Nauchnie issledovaniya, nanosistemi i resursoberegayushchie tehnologii v promishlennosti stroitel'nykh materialov : Sbornik trudov*. Belgorod. 2010; 65-68. (rus.).

15. Kopanitsa N.O., Kasatkina A.V., Sarkisov Yu.S. New organic-mineral additives on the basis of peat for cement systems. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2015; 4:93-95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-organomineralnye-dobavki-na-osnovetorfa-dlya-tsementnykh-cistem> (rus.).

16. Cvetkov N.A., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Prischepa I.A., Zubkova O.A. Structural formation of concrete stone with thermomodified peat admixture. *Izvestiya visshih uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2018;

720(12):52-61. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37350866> (rus.).

17. Lishtvan I.I., Lyahevich G.D., Dudarchik V.M., Kraiko V.M., Anufrieva E.V., Smolyachkova E.A. Disposal of ash wastes incineration of peat-wood and peat fuels with materials for construction application obtaining. *Problems of recultivation of household waste, industrial and agricultural production : IV International Scientific Ecological Conference*. Krasnodar, Kuban State Agrarian University, 2015; 519-523. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23927749> (rus.).

18. Kostrov V.V., Sviridov V.A., Cibakin S.V., Dubrovina Yu.Yu. Study of chemical composition and possibilities of utilization of peat ashes in concretes production. *ChemChemTech*. 2008; 51(11):52-55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11529474> (rus.).

19. Lyahevich G.D., Lyahevich A.G., Ortner D.V. Technology and efficiency of peat ash usage in cement concrete. *Science and Technology*. 2015; 2:16-23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23591880> (rus.).

20. Demyanenko O.V., Kulikova A.A., Kopanitsa N.O. The effect of complex multi-purpose additive on operating properties of hydrated cement and concrete. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Journal of Construction and Architecture]*. 2020; 22(5):139-152. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-139-152 (rus.).

21. Guvalov A.A., Kabus A.V., Usharov-Marshak A.V. Influence of organomineral additive on early hydration of cement. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2013; 9:94-95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-organomineralnoy-dobavki-narannyuyu-gidratatsiyu-tsementa> (rus.).

Received November 16, 2022.

Adopted in revised form on December 5, 2022.

Approved for publication on December 5, 2022.

B I O N O T E S : **Maria A. Dmitrieva** — Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor, JSC “Institute of High Technologies”; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Nevskogo st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; SPIN-code: 9582-8995, ORCID: 0000-0002-9593-8653; admitrieva@kantiana.ru;

Veniamin V. Kogay — master's student; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Nevskogo st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2127-8998; vkogai@stud.kantiana.ru;

Vladimir N. Leitsin — Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor, JSC “Institute of High Technologies”; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Nevskogo st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; SPIN-code: 4731-0628, ORCID: 0000-0002-6140-256X, vleitsin@kantiana.ru;

Alina D. Panfilova — graduate student, JSC “Institute of High Technologies”; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Nevskogo st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; SPIN-code: 3535-8391, ORCID: 0000-0002-1635-9371; ad.kogay@yandex.ru;

Anastasiia V. Puzatova — Head of the Building materials laboratory, JSC “Institute of High Technologies”; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Nevskogo st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; SPIN-code: 9897-7603, ORCID: 0000-0002-3798-4969; asharanova@kantiana.ru;

Sofia R. Sokolnikova — master's student; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Nevskogo st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; SPIN-code: 8761-0875, ORCID: 0000-0002-0896-4512; sokolsofy@mail.ru.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.