

УДК 691

НАНОТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

К.А. Веселова

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. Нанотехнологии - одно из перспективных направлений науки. Использование нанотехнологий позволяет придавать обычным строительным материалам новые уникальные свойства. Появление нанотехнологий и их применение может решить проблему энергосбережения в строительной области. Использование нанотехнологий также позволит внедрять новые экологически чистые строительные материалы с уникальными свойствами, что может принести большую экономическую пользу. Применение нанотехнологий при реконструкции и ремонте может позволить увеличить эксплуатацию зданий на десятки лет, и сам ремонт будет отличаться энергоэффективностью и низкой материалоемкостью. В статье показаны достижения в области нанотехнологий, а также возможности их использования в сфере гражданского строительства. Рассмотрено использование таких наноматериалов, как: нанобетон, наносталь, наностекло, различного рода нанопокртия. В качестве теплоизоляционных нанотехнологий представлены аэрогель и жидкая теплоизоляция. Особый интерес для дальнейших исследований вызывают нанотехнологии для противопожарной защиты, а также наносенсоры для мониторинга состояния окружающей среды и характеристик строительных материалов и конструкций. Смарт-система способна контролировать влажность, температуру, коррозию, вибрацию арматуры, трещины и прочие показатели. Отдельное внимание в статье уделено работе ведущих отечественных и зарубежных компаний, работающих в области нанотехнологий, а также перспективам развития нанотехнологий в строительстве.

Ключевые слова: Нанотехнологии, строительство, наноматериалы, инновации, аэрогель, нанобетон, наносталь, наностекло, нанопокртие, теплоизоляционные нанотехнологии, наносенсоры, наномодифицированные добавки.

Ссылка для цитирования: Веселова К.А. Нанотехнологии и перспективы их применения в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 26-32. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/26-32.pdf>

NANOTECHNOLOGIES AND PROSPECTS OF THEIR APPLICATION IN CONSTRUCTION

K.A. Veselova

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. Nanotechnology is one of the promising areas of science. The use of nanotechnology makes it possible to impart new unique properties to ordinary building materials. The emergence of nanotechnology and their application can solve the problem of energy conservation in the construction industry. The use of nanotechnology will also allow the introduction of new environmentally friendly building materials with unique properties, which can bring great economic benefits. The use of nanotechnology in reconstruction and repair can increase the operation of buildings for tens of years, and the repair itself will be distinguished by energy efficiency and low material consumption. The article shows the achievements in the field of nanotechnology, as well as the possibilities of their use in the field of civil engineering. The use of such nanomaterials as: nano concrete, nanosteel, nano glass, various kinds of nanocoatings is considered. Airgel and liquid thermal insulation are presented as thermal insulation nanotechnologies. Of particular interest for further research is nanotechnology for fire protection, as well as nanosensors for monitoring the state of the environment and the characteristics of building materials and structures. The smart system is able to control humidity, temperature, corrosion, vibration of the reinforcement, cracks and other indicators. Special attention is paid to the work of the leading domestic and foreign companies working in the field of nanotechnology, as well as the prospects for the development of nanotechnology in construction.

Keywords: Nanotechnology, construction, nanomaterials, innovations, airgel, nanoconcrete, nanosteel, nanoglass, nanocoating, thermal insulation nanotechnology, nanosensors, nano-modified additives.

For citation: Veselova K.A. Nanotechnologies and prospects of their application in construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 1 (1). Pp. 26-32. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/26-32.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Нанотехнологии - одно из перспективных направлений науки. Немаловажное место в развитии нанотехнологий имеет и строительная область. Нано - это размер, одна миллиардная часть какого-то единого целого. Соответственно нанометр - это одна миллиардная метра, величина, невидимая невооруженным глазом.

Любой материал, если поделить его на такие крошечные частицы, может кардинально изменить свои свойства (к примеру, пластик станет проводником, а вода - клеем). Разделяют и соединяют такие частицы по-разному (высокая температура, химическая реакция, электромагнитное поле, которое заставляет их выстраиваться в новом порядке, в новую структуру). Полностью домов-нано не так много, но есть технологии, позволяющие сделать одни элементы конструкции - огнеупорными, другие - влагонепроницаемыми, а третьи - легкими и прочными. Таким образом, принцип создания наноматериалов позволяет получать свойства, которых невозможно добиться традиционным способом.

Стоит отметить, что появление нанотехнологий и их применение может решить проблему энергосбережения в строительной области. Использование нанотехнологий также позволит внедрять новые экологически чистые строительные материалы с уникальными свойствами, что может принести большую экономическую пользу.

Наноизделия имеют уникальные характеристики, позволяющие решить насущные проблемы в строительной сфере. В наше время очень важно, чтобы строительные проекты экономили энергию, сокращали использование ресурсов, а главное, наносили минимальный вред окружающей среде, поэтому необходимо использовать экологически чистые и устойчивые строительные наноматериалы [1-4].

Безусловно, любое здание со временем изнашивается, теряет свои эксплуатационные свойства (происходит разрушение конструкции, ветшает кровля и т.д.). И крайне невыгодно сносить старые здания для строительства новых. Единственный выход из данной ситуации – это капитальный ремонт. Но с применением нанотехнологий возможно увеличить эксплуатацию здания на 30 лет, и такой ремонт будет отличаться энергоэффективностью и низкой материалоемкостью.

НАНОБЕТОН

Бетон - один из основных строительных материалов естественного происхождения, состоящий из цемента, воды, песка и щебня. Широкое практическое использование этого материала обусловлено высокой прочностью, влагостойкостью [5-10]. Специалисты утверждают, что бетон может прослужить аж до 500 лет. Один из практически реализованных примеров использования легкого нанобетона - мост через р. Волга в г. Кимры (рис.1).



Рис.1. Мост через р. Волга в г. Кимры (Тверская область)¹
Fig. 1. Bridge over the Volga river in the city of Kimry (Tver region)

Различные нанодобавки способны кардинально изменить структуру, свойства бетона для дальнейшего успешного практического применения.

Основная проблема бетона - его разрушение с течением времени. Бетон неоднороден, между его компонентами возникают напряжения при изменении температуры: бетон выкрашивается, трескается и в конечном итоге распадается. Ученые разработали технологии восстановления бетона с помощью бактерий. В бетон помещают споры бактерий. Они при появлении трещин активизируются и начинают естественным способом вырабатывать карбонат кальция (основной компонент бетона), он перекрывает щели. Удивительно, но ученые еще изобрели и эластичный бетон, в цемент добавляют материал, который встречается в морских раковинах.

Исследование свойств бетона показало, что наночастицы в виде диоксида титана значительно повышают его прочность. Дело в том, что бетон, взаимодействуя с воздухом, способствует образованию активного кислорода под

¹ Нанотехнологии в строительстве [электронный ресурс]. - URL:
http://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/constr_field (дата обращения: 28.05.2021)

действием солнечного света. И, как следствие, происходит уничтожение бактерий и разложение органических соединений. Сверхпрочный бетон используют при изготовлении несущих конструкций.

Ученые обнаружили, что введение частиц диоксида кремния значительно изменяет структуру бетона. Он становится намного легче, более плотным, с низкой пористостью, что позволяет использовать его в строительстве внутренних перегородок помещений.

Пономарев Андрей Николаевич, генеральный директор ЗАО «НТЦ прикладных нанотехнологий», профессор Санкт-Петербургского политехнического университета, еще в 1990 году заметил, что при добавлении в бетон углеродных тороподобных наночастиц астраленов его прочность возросла на 40%. Был сделан вывод, что различные модификации пластификаторов (жидкие, сухие добавки) значительно снижают уровень воды в материале, что облегчает его укладку. Сейчас аспиранты и сотрудники Политеха под руководством Пономарева А.Н. изучают такие материалы и принимают активное участие в их разработке [11].

НАНОСТАЛЬ

Сегодня очень сложно представить современные здания без использования стальных элементов, ведь они обладают такими важными свойствами, как прочность, коррозионная устойчивость. Но было обнаружено, что включение наночастиц в виде меди в сталь приводит к более высокой коррозионной стойкости. Такую сталь называют НЛВД (низкоуглеродистая сталь высокой эффективности). Также для улучшения микроструктуры стали добавляют наночастицы ванадия и молибдена. Они помогают решить проблему замедленного разрушения, уменьшая эффекты водородного охрупчивания.

НАНОСТЕКЛО

Добавление наночастиц в стекло приводит к тому, что поверхность становится полностью прозрачной и способной к самоочищению. Такое стекло легче, долговечнее, меньше подвержено коррозии. Одним из примеров применения нанотехнологий является Большой национальный театр в Пекине (рис.2). Его сферическая оболочка полностью стеклянная, такое наностекло содержит частицы диоксида титана.

Настоящим прорывом в строительной сфере стали инновационные пленки, которые благодаря особым пигментам отражают 80% инфракрасных лучей, тем самым защищая цветные пластиковые окна от инфракрасного излучения. Применение данной пленки имеет ряд преимуществ, таких как защита от перегрева окон и помещений, что существенно продлевает жизнь окнам, снижая затраты на кондиционирование.



Рис. 2. Большой национальный театр в Пекине²
Fig. 2. Grand National Theater in Beijing

УГЛЕПЛАСТИК

Невозможно не упомянуть, что одним из главных наноматериалов, выпускаемых в России, является углепластик. Так, например, компанией ООО «НТИЦ АпАТЭКДубна» к Олимпиаде в Сочи 2014 года был построен мост из углепластика (рис.3). В состав материалов основного каркаса входят нанотрубки (они уменьшают деформацию при остывании материала) и медь (придает им огнестойкость). Немаловажно то, что из-за отсутствия железа мост никогда не заржавеет. Вся конструкция достаточно легкая. Удивительно, но ее смонтировали всего лишь за 20 минут!

Уникальность моста также заключается в том прозрачные поручни моста включают наноалмазы, а покрытие содержит углеродные волокна и нанокорбиды.

² Будущее здесь - современная архитектура в Китае [электронный ресурс]. - URL: <https://www.elle.ru/stil-zhizni/puteshestviya/budushee-zdes-sovremennaya-arhitektura-v-kitae-id6816086> (дата обращения: 28.05.2021)



Рис.3. Углепластиковый мост с подсветкой у художественного музея г. Сочи³
Fig. 3. Illuminated carbon fiber bridge near the Sochi Art Museum

НАНОПОКРЫТИЯ

Покрытия для конструкций из камня, бетона, стекла и дерева имеют важное значение в строительной области [12], так как они обладают следующими необходимыми свойствами: защитными (влагостойкими, грязезащитными, для защиты от обледенения), теплоизоляционными, отделочными (краски, лаки), энергосберегающими, антивандальными (защита от граффити и механических повреждений).

Существует интересный защитный механизм покрытий, основанный на эффекте лотоса, лепестки которого покрыты тонкой воскообразной пленкой. Важно то, что ее поверхность не смачивается водой, что позволяет защитить сооружение от воздействия осадков, загрязнений. Применение такого покрытия можно встретить в Большом национальном театре в Пекине (рис.2).

Сейчас также очень популярно стало использование фасадных водонепроницаемых красок. Они довольно эластичны, устойчивы к климатическим перепадам и имеют высокий уровень прочности сцепления с основой. Подобные покрытия реализованы для плитки и душевых кабин.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Одним из актуальных направлений применения наноматериалов является теплосбережение. Наногель (аэрогель) был изобретен Самуэлем Кистлером в 1931 году (рис.4). Теплоизоляция на его основе заметно превосходит всевозможные теплоизоляционные материалы по долговечности, надежности, энергетической эффективности [13]. Он гидрофобен (не впитывает влагу и не пропускает сквозь себя, тем самым предотвращая появление конденсата), из 99% состоит из воздуха, абсолютно безвреден, толщина всего несколько миллиметров.

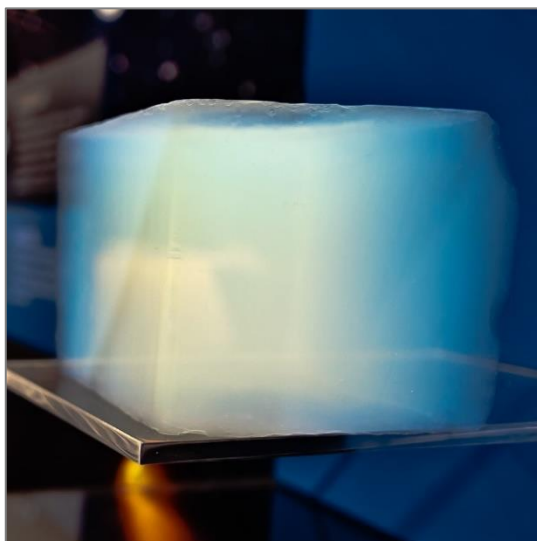


Рис.4. Аэрогель⁴
Fig. 4. Airlgel

³ Александр Морозов: дорога в стиле НАНО [электронный ресурс]. - URL: <https://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/articles/85714> (дата обращения: 26.07.2021)

⁴ Три технологии в одной: аэрогель из графена, напечатанный на 3D принтере [электронный ресурс]. - URL: <https://www.nanonewsnet.ru/news/2015/tri-tekhnologii-v-odnoi-aerogel-iz-grafena-napechatanniy-na-3d-printere> (дата обращения: 26.07.2021)

Становится популярным использовать в качестве покрытия жидкую теплоизоляцию. В ее состав входят калиброванные силиконовые и керамические микросферы. В свою очередь они содержат разряженный воздух, а также минеральные добавки и акриловые связующие. После высыхания жидкая теплоизоляция дает ровный и эластичный слой для поддержания эффекта термоса.

Немаловажную роль играют защитные покрытия цветных окон ПВХ, поскольку они способны нагреваться до высоких температур (даже в несколько раз больших, чем окружающая среда). Все это может привести к существенным деформациям рам. Но использование нанопленок позволяет защитить помещение от перегрева.

Как мы видим, для поддержания определенной температуры в зданиях и снижения энергопотерь нам не обойтись без теплоизоляционных нанотехнологий.

НАНОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

Удивительно, но используя уникальные наноматериалы, можно повысить и огнестойкость различных конструкций. К примеру, если смешать углеродные нанотрубки с цементирующим материалом, то станет возможным создание прочных, долговечных, а главное высокотемпературных покрытий. Полипропиленовые волокна также рассматриваются как метод повышения огнестойкости, и это более дешевый вариант, чем обычная изоляция.

НАНОСЕНСОРЫ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО МОНИТОРИНГА

Еще одним полезным применением нанотехнологий являются многофункциональные наносенсоры. Они разработаны для мониторинга (контроля) состояния окружающей среды и характеристик материалов. Такие датчики на основе пьезокерамики совершенно компактны. Они могут уже в процессе строительства встраиваться в конструкцию. Смарт-система способна контролировать влажность, температуру, коррозию, вибрацию арматуры, трещины (особенно это важно для контроля качества и долговечности в бетонных конструкциях). Нанодатчики позволяют еще на раннем этапе проверить работоспособность конструкции, чтобы предотвратить дальнейший ее сбой.

ВЕДУЩИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Зарубежные предприятия, успешно принимающие участие в разработке нанотехнологий:

- «Sika» (Швейцария) – мировой лидер в создании нанотехнологий. Компания производит различные добавки к бетону, гидроизоляционные пленки.

- BASF (Германия) – вносит огромный вклад в исследование неорганической химии и полимеров для создания технологий ремонта бетона и железобетона.

- Национальный институт материаловедения (Япония) – занимается созданием сверхлегких и сверхпрочных материалов. Институт славится своими успехами в области нанотехнологий. Был изучен способ, позволяющий разжигать металл, которым затем пропитывается ткань.

- Шанхайский центр науки и нанотехнологий (Китай) – разрабатывает полупрозрачные нанопокрывтия, которые способны накапливать солнечную энергию.

В России пока что не ведутся конкретные исследования нанотехнологий в строительной сфере. Только благодаря достижениям в смежных областях науки происходит внедрение инновационных технологий. ОАО «РОСНАНО» является главным спонсором проектов по изучению нанопроцессов. Все исследования ведутся в научно-исследовательских институтах.

Так, например, совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана, компания «Экструзионные машины» изготовила нанокompозитные трубки. Ученые Института материаловедения и эффективных технологий изучают процессы производства цемента путем нанокapsуляции. Без сомнения, сейчас особое внимание обращается на подборку высококвалифицированных специалистов по разработке инновационных технологий.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В наше время исследования в области нанотехнологий открывают возможность применения нанотехнологий во всех сферах деятельности, особенно в строительной, которая уже сейчас одна из самых динамично развивающихся.

Всем известен тот факт, что большая часть территорий России – это пустующие земли. Но остается верить, что с развитием наноматериалов в строительной области возникает перспектива организации производства на неиспользуемых землях. Стоит отметить, что в скором будущем наноматериалы будут применяться и для личного пользования, например, на дачных участках.

Современные технологии шагнули далеко вперед. Сейчас уже проще представить себе наносистему, смонтированную в здание, мост или в дорожное покрытие, нанодатчики которой способны проводить контроль состояния самой конструкции (температуры, давления, механических повреждений). Перспективным является и строительство «чувствительных» дорог, способных определить скоростной режим движущегося по ним транспорта; основания зданий с самоконтролем напряженно-деформированного состояния; кровли, аккумулирующей энергию солнца.

Нанотехнологии необходимы для реализации экодому, которые обладают высокой энергонезависимостью, малым потреблением энергии. Такие «умные» дома обеспечивают идеальные условия для сохранения и поддержания здоровья проживающих в них людей.

Еще одним перспективным направлением считается применение следующих нанотехнологических подходов: формирование структуры строительных материалов таким образом, чтобы обеспечить их самосборку «снизу-вверх». Другими словами, создание такого дизайна материала или изделия, который сможет контролировать и управлять процессом структурообразования, начиная с наноразмерного уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение нанотехнологий в строительстве – одно из самых актуальных направлений в наше время. Перечисленные выше технологии уже находят свое применение в строительной сфере. Все это дает надежду на скорое появление изобретений, которые кажутся нам сейчас поистине фантастическими. Уже сейчас успешно используются в строительстве нанобетон, нанопокртия, нанокompозитные трубы и др.

Не стоит забывать, что введение наночастиц может стать источником серьезных экологических проблем. Они активные и очень легко могут проникать в организм благодаря своим размерам. Поэтому, несмотря на все идеи, не стоит забывать, что нужно использовать те материалы, которые не будут вредить как природе, так и человеку.

К сожалению, доля наноматериалов в строительном секторе еще не так высока - менее 1%. Объясняется это прежде всего отсутствием высококвалифицированных кадров. Но отечественные ученые не отстают от мировых лидеров в сфере нанотехнологий, внедряя инновации. Статистика показывает, что в ближайшие 10 лет объем применения нанотехнологий может увеличиться на 40%. Особенно популярны энергосберегающие материалы, позволяющие отрегулировать комфортные условия жилых и производственных помещений.

Следовательно, развитие нанотехнологий - это не только огромный шаг вперед в технике, медицине и экономике, это еще и настоящий прорыв в строительной и промышленной индустрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фахратов М.А., Евдокимов В.О., Бородин А.С. Перспективы применения наноструктурированного бетона в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). С. 124.
2. Lam T.Q.K., Do T.M.D., Ngo V.T., Nguyen T.C. Increased plasticity of nano concrete with steel fibers // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 1 (93). С. 27-34.
3. Фролов А.В., Черкашин А.В., Акимов Л.И., Кольцова Т.С., Ватин Н.И., Насибулин А.Г., Толочко О.В., Чумадова Л.И. Ускорение процесса формирования структуры цементного камня с помощью углеродных наномодифицированных добавок // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 7 (34). С. 32-40.
4. Frolov A., Cherkashin A., Akimov L., Vatin N., Koltsova T., Nasibulin A., Tolochko O., Chumadova L. An impact of carbon nanostructured additives on the kinetics of cement hydration // Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 725-726. С. 425-430.
5. Бедрина Е. Бетон - материал, к которому нашли новые подходы // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2020. № 12. С. 19-22.
6. Клещевникова В.И., Логвинова А.С., Беляева С.В. Разновидности материалов для дисперсного армирования бетона // AlfaBuild. 2018. № 5 (7). С. 59-74.
7. Ivanov E., Semenov K., Barabanshchikov Y., Vavilova A., Manovitskij S., Mushchanov V. Crack resistance criteria of massive concrete and reinforced concrete structures during the construction period // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Т. 70. С. 575-584.
8. Kleshchevnikova V., Logvinova A., Belyaeva S. Varieties of materials for disperse reinforcement of concrete // AlfaBuild. 2019. № 1 (8). С. 59-74.
9. Struchkova A.Y., Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Shaibakova A.I.A. Heat dissipation of cement and calculation of crack resistance of concrete massifs // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 2 (78). С. 128-135.
10. Дузинкевич В.С., Немова Д.В. История возникновения, состав и анализ особенностей литого бетона // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 68-3. С. 83-88.
11. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны: анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии. // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 6 (8). С.25-33
12. Фаликман В.Р. Нанопокртия в современном строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2021. №1. С. 5-11.
13. Васильева И.Л., Немова Д.В. Перспективы применения аэрогелей в строительстве // AlfaBuild. 2018. № 4 (6). С. 135-145.

REFERENCES

1. Fakhratov M.A., Evdokimov V.O., Borodin A.S. Prospects for the use of nanostructured concrete in construction // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. 2018. No. 3 (50). P. 124.
2. Lam T.Q.K., Do T.M.D., Ngo V.T., Nguyen T.C. Increased plasticity of nano concrete with steel fibers // Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 1 (93). Pp. 27-34.

3. Frolov A.V., Cherkashin A.V., Akimov L.I., Koltsova T.S., Vatin N.I., Nasibulin A.G., Tolochko O.V., Chumadova L.I. Acceleration of the process of formation of the structure of cement stone using carbon nanomodified additives // Construction of unique buildings and structures. 2015. No. 7 (34). Pp. 32-40.
4. Frolov A., Cherkashin A., Akimov L., Vatin N., Koltsova T., Nasibulin A., Tolochko O., Chumadova L. An impact of carbon nanostructured additives on the kinetics of cement hydration // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725-726. Pp. 425-430.
5. Bedrina E. Concrete - a material to which new approaches have been found // Construction: new technologies - new equipment. 2020. No. 12. Pp. 19-22.
6. Kleshechnikova V.I., Logvinova A.S., Belyaeva S.V. Kinds of materials for dispersed concrete reinforcement // AlfaBuild. 2018. No. 5 (7). Pp. 59-74.
7. Ivanov E., Semenov K., Barabanshchikov Y., Vavilova A., Manovitskij S., Mushchanov V. Crack resistance criteria of massive concrete and reinforced concrete structures during the construction period // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 70. Pp. 575-584.
8. Kleshechnikova V., Logvinova A., Belyaeva S. Varieties of materials for disperse reinforcement of concrete // AlfaBuild. 2019. No 1 (8). Pp. 59-74.
9. Struchkova A.Y., Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Shaibakova Al.A. Heat dissipation of cement and calculation of crack resistance of concrete massifs // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 2 (78). Pp. 128-135.
10. Duzinkevich V.S., Nemova D.V. History of origin, composition and analysis of features of cast concrete // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]. 2020. No. 68-3. Pp. 83-88.
11. Ponomarev A.N. High quality concrete: analysis of the possibilities and practice of using nanotechnology methods. // Magazine of Civil Engineering. 2009. No. 6 (8). Pp. 25-33.
12. Falikman V.R. Nanocoatings in modern construction // Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal [Nanotechnologies in construction: scientific online journal]. 2021. No. 1. Pp. 5-11.
13. Vasilyeva I.L., Nemova D.V. Prospects for the use of aerogels in construction // AlfaBuild. 2018. No. 4 (6). Pp. 135-145.

ОБ АВТОРАХ

Кристина Александровна Веселова – студентка бакалавриата. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: veselova.ka@edu.spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Kristina A. Veselova – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: veselova.ka@edu.spbstu.ru