

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**  
**BUILDING AND ARCHITECTURE**

УДК 666.97:691.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-2-158-164 Оригинальная статья/Original Paper

**Аддитивная технология изготовления изделий и сооружений из армобетона**  
**М.Р. Нахаев**

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика  
М.Д. Миллионщикова,  
364051, г. Грозный, пр. Исаева, 100, Россия,  
Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова,  
364024, г. Грозный, ул. Шерипова, 32, Россия

**Резюме. Цель.** Целью исследования является анализ известных технологических приемов формования торкрет-бетона и строительного 3D принтера и разработка на этой основе расширенной аддитивной технологии — метода электростатического формования изделий и сооружений из армобетона. **Метод.** Принцип получения электростатического бетона заключается в электростатическом осаждении полусухой смеси вяжущего, тонкомолотого песка и волокон на формообразующую основу из стальной или углеродной сетки. Полученные слои дозировано увлажняют тонкораспыленной водой с различными добавками, циклы осаждения смеси и увлажнения повторяют до получения нужной толщины армобетона. **Результат.** Электростатическое наращивание слоев бетона происходит без механического воздействия на формообразующую основу. Доказано, что основу изделия можно делать из небольшого количества материала за малое время и любым доступным способом. Первые же слои фибробетона после выдержки времени придают формообразующей основе прочность. По мере наращивания толщины бетона рост прочности изделия растёт, опережая рост массы. **Вывод.** Электростатический метод формования позволяет изготавливать тонкостенные корпусные детали сложной формы, пространственные оболочки, архитектурно-строительные детали, и сооружения мембран, полых колонн и стоек, опор линий электропередач, мелиоративных желобов, водоотводных труб большого диаметра, резервуаров и др.

**Ключевые слова:** аддитивная технология, строительное изделие, формообразующий основа, электростатическое осаждение, сухая смесь

**Для цитирования:** М.Р. Нахаев. Аддитивная технология изготовления изделий и сооружений из армобетона. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(2): 158-164. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-158-164

**Additive technology for manufacturing products and structures from reinforced concrete**

**M.R. Nakhaev**

M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University,  
100 Isaev Ave., Grozny 364051, Russia,  
A.A. Kadyrov Chechen State University,  
32 Sheripova Str., Grozny 364024, Russia

**Abstract. Objective.** An analysis of already known technological methods for molding shotcrete and a construction 3D printer confirmed the effectiveness of building additive technologies. The proposed extended additive technology, the method of electrostatic molding of products and structures made of reinforced concrete, will find its practical application in construction. **Method.** The principle of obtaining electrostatic concrete is the electrostatic deposition of a semi-dry mixture of binder, finely ground sand and fibers on a shaping base made of steel or carbon mesh. The resulting layers are dosed with finely sprayed water with various additives, the mixture sedimentation and moisturizing cycles

are repeated until the desired thickness of reinforced concrete is obtained. **Result.** Electrostatic build-up of concrete layers occurs without mechanical impact on the shaping base. This means that the basis of the product can be made from a small amount of material in a short time and in any available way. The first layers of fiber-reinforced concrete, after holding time, give strength to the shaping base. As the thickness of concrete increases, the strength of the product increases, outstripping the increase in mass. **Conclusion.** The electrostatic molding method makes it possible to manufacture thin-walled body parts of complex shape, spatial shells, architectural and construction parts, and structures of membranes, hollow columns and racks, power line supports, reclamation gutters, large-diameter drainage pipes, tanks, etc.

**Keywords:** additive technology, building product, shaping base, electrostatic deposition, dry mix

**For citation:** M.R. Nakhaev. Additive technology for manufacturing products and structures from reinforced concrete. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2022; 49(2):158-164. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-158-164

**Введение.** Большое количество изделий раньше производилось путем отделения лишнего материала. На этом было основано производство, например, в машиностроении, за исключением литья и некоторых других технологий. В последней четверти 20 века стали развиваться аддитивные технологии, основанные на присоединении материалов (пластмасс или металлических порошков), послойного наращивания и синтеза трехмерных объектов с помощью компьютерных 3D технологий.

Одной из первых механизированной аддитивной технологией у строителей можно считать технологию торкрет-бетона, которая появилась в самом начале прошлого столетия. Эта производительная технология позволяет наносить бетон на плоскую или криволинейную основу. Но не позволяет получить относительно ровную поверхность бетона. Для нанесения торкрет-бетона требуется прочная стена, формообразующая поверхность или опалубка. Потому что скорость струи бетона, вылетающей из торкрет-пушки, достигает 70-90 м/с. Несмотря, что, струя сильно диспергирована, при ударе струя бетона оказывает сильное давление на преграду.

Заметным событием для строителей и архитекторов стало создание строительного 3D принтера. Строительный 3D принтер работает не с пластмассами и не с металлическими порошками, а с бетоном и другими вяжущими материалами.

В строительном 3D принтере формующая головка может перемещаться по трем осям с большой амплитудой [1]. Известны строительные принтеры, формующая головка которых перемещается в полярных координатах. Полые стены и перегородки дома строительные принтеры формируют лентой шириной в несколько сантиметров из быстротвердеющего бетона. Как правило, бетон содержит упрочняющие волокна и различные добавки [2]. Волокна повышают пластичность и связность бетона. Они улучшают равномерность подачи смеси через формующую головку. Это позволяет увеличить толщину и ширину укладываемого слоя бетона.

**Постановка задачи.** Строительный принтер обходится без опалубки и при отлаженной программе и бесперебойной подаче бетона в экструзионную головку может часами работать без участия человека. Очевидные недостатки строительного принтера - он может строить только вертикальные или слабонаклонные стенки. Кроме того, поверхность строения требует отделочных работ из-за линейчатого и неровного рельефа стен. Упрочнение стен арматурой, особенно вертикальной, тоже вызывает проблемы. Пока это осуществляется вручную.

К преимуществам использования 3D принтера в малоэтажном строительстве можно отнести его производительность и возможность достижения полной автоматизации. Бесспорно, что развитие этого направления приведет к снижению себестоимости строительства и даст новые плодотворные идеи архитекторам.

Более 20 лет назад появилась еще одна разновидность аддитивной технологии в строительстве. Это, так называемое, электростатическое формование изделий и сооружений из бетона. По этому методу было опубликовано несколько работ [3-5]. Однако за много лет, прошедших с тех пор, о какой-либо экспериментальной проверке метода и исследовании образцов

электростатического бетона ничего не известно. Поэтому предстоит выполнить большой цикл работ по исследованию электростатического метода формования изделий и сооружений из армобетона различного состава. Кроме того, необходимо выполнить исследования по определению границ применимости метода в различных областях строительства.

**Методы исследования.** В чем суть новой аддитивной технологии? Техникам, связанным с обслуживанием электрофильтров цементных заводов, известно такое явление. Иногда на проволочных электродах фильтров образуется не рыхлый осадок из уловленной цементной пыли, а прочные бетонные стержни цилиндрической формы с сердечником в виде проволочного электрода. Прочные бетонные керны образуются на электродах тогда, когда влажность проходящих через электрофильтр газов выше нормы. Такой же эффект имеет место в электрофильтрах угольных электростанций. Здесь довольно прочные стержни образуются из золы-уноса. Кроме того, давно известны технологии покрытия металлических деталей порошковой краской с помощью электростатического поля.

За рубежом известна технология эмалирования, когда тонкий порошок силикатной эмали с помощью электростатического поля наносят на металлические изделия перед обжигом [6]. Эти примеры подтвердили, что электростатическая техника может послужить физической основой для разработки нового метода аддитивной технологии в производстве строительных изделий и сооружений из армобетона и вообще в строительстве.

Объяснить суть метода лучше на примере. Предположим, нужно изготовить элемент малой архитектуры в виде пустотелого замкнутого шара диаметром один метр из армобетона. Сначала делают формообразующую основу шара из металлической сетки или другого электропроводного материала. Можно сделать сетчатый шар вручную, а можно изготовить его на большом 3D принтере. Тем более, для этой технологии сетка основы может быть предельно тонкой, а значит, основу можно сделать быстро.

Во время осаждения сухой смеси на сетку, она не испытывает заметного механического воздействия, в отличие от процесса торкретирования. Сеточный шар со сложным ажурным орнаментом можно изготовить на 3D принтере из электропроводного АВС-пластика. Обычно это пластик с присадками графита. Используют программу для принтера, чтобы сетка получилась не простая, а орнаментальная, например, в ближневосточном стиле. Готовую формообразующую основу в виде сетчатого шара подвешивают и заземляют. Далее, используя электростатический пистолет, наносят на шар сухую смесь, состоящую из цемента, тонкого песка и упрочняющих волокон.

Цемент используют размолотый без гидрофобных добавок. Поскольку срок хранения у такого цемента меньше, чем у обычного цемента, стараются использовать его свежим. Вместо тонкого песка, в зависимости от требований к изделию и его назначения, применяют минеральные порошки - тонкоизмельченные отходы камнеобработки или золошлаковые отходы, порошок перлита, вулканического пепла, цементную пыль из электрофильтров цементных заводов и другие тонкодисперсные материалы природного и техногенного происхождения [7-9].

Изделие, или сооружение, из электростатического фибробетона, кроме упрочнения волокнами, имеет формообразующую основу. Основа может быть выполнена в виде арматурно-сеточного каркаса, способного нести в изделии значительную нагрузку. В качестве дополнительного упрочнения армобетона, кроме сетки, используют волокна из щелочестойкого стекла, базальта, углеродные волокна. В некоторых случаях могут применяться синтетические и растительные волокна льна, джута и др. Обычная стальная фибра и грубая полипропиленовая фибра здесь не годится. Для дополнительного армирования электростатического бетона годится волокно толщиной не более 30-50 мкм и длиной от 3 до 30 мм, в зависимости от типа изделия. Обычно прочность минеральных волокон следует правилу - чем тоньше волокно, тем выше удельная прочность. Отдельный вопрос - физико-химические свойства волокон. Например, смачиваемость и химическая устойчивость различных волокон в водных растворах щелочей, адгезия волокон к цементному камню в зависимости от состава бетона и др.

При электростатическом осаждении сухой смеси на формообразующую основу из сетки задают режим нанесения порошка. На процесс осаждения влияют: скорость подачи смеси, скорость воздуха из распылителя, расстояние между распылителем и изделием, величина напря-

жения между электростатическим распылителем и заземленным изделием и др. Компоненты сухой смеси, проходя через канал электростатического распылителя, получают электрический заряд. Правильно подобранное расстояние между распылителем и изделием улучшает осаждение сухой смеси на тыльную сторону изделия. Лицевая сторона при этом покрывается хорошо в любом случае.

Как происходит физически покрытие тыльной стороны сетки частицами смеси? При оптимальном расстоянии, скорости воздушного потока и напряженности электрического поля значительное количество частиц пролетает через отверстия в сетке. Затем частица полем тормозится, ускоряется в обратном направлении и оседает на сетке с тыльной стороны. После стекания электрического заряда через сетку, осажденный слой удерживается силами Ван-дер-Ваальса, которые не так малы - межмолекулярное взаимодействие происходит с энергией 10-20 кДж/моль. А затем, при дозированном увлажнении сухой смеси тонкораспыленной водой с поверхностно-активными веществами (ПАВ), к этим силам добавляются силы смачивания и капиллярного эффекта.

На процесс покрытия формообразующей основы сухой смесью влияет удельное электрическое сопротивление частиц цемента и других компонентов смеси. Практикой установлено, что область оптимальной электропроводности частиц для их электростатического осаждения имеет широкий интервал - от  $10^3$  до  $10^9$  Ом·м.

Ниже показано, что у всех такого рода материалов это сопротивление (в Ом·м) достаточно велико, что для процесса электростатического осаждения благоприятно:

Цементная пыль	-	$10^7$
Окись магнезия	-	$10^8$
Портландцемент	-	$10^8$
Шлаковый портландцемент	-	$10^9$

Частицы при осаждении образуют плотный слой материала с высоким электрическим сопротивлением, который накапливает электрические заряды и, тем самым, снижает напряженность результирующего поля в рабочем пространстве между распылителем и поверхностью. Это замедляет процесс осаждения новых частиц.

Таким образом, осаждение сухой бетонной смеси происходит до тех пор, пока проводимость слоя еще достаточна для стекания заряда на заземленное изделие. Электропроводность частиц возрастает при увеличении относительной влажности воздуха. Эта особенность характерна для большинства минеральных частиц и может быть использована для регулирования процессов осаждения.

Далее увлажняют осажденный слой сухой смеси тонкораспыленной водой с ПАВ. Процесс увлажнения - один из важных процессов новой технологии. Дело в том, что для экономии цемента содержание воды в бетонной смеси рекомендуют уменьшать до 12-20 % от массы вяжущего, то есть до теоретического предела. Это требование на практике чаще всего не выполняется, так как бетонная смесь с малым содержанием воды малоподвижна. Для удобства укладки бетона, водоцементное отношение (В/Ц) увеличивают до 0,45-0,6, вместо рекомендуемых по теории около 0,2. Избыток воды снижает прочность бетона. Для обеспечения нормативной прочности бетона избыток воды пытаются компенсировать увеличением расхода цемента. Если все же применяют малое В/Ц, то жесткость бетонной смеси уменьшают с помощью различных пластификаторов. Укладку жестких бетонных смесей проводят с использованием вибрирования и других методов.

В новой аддитивной технологии, впервые появилась возможность регулировать В/Ц в широких пределах, независимо от сложности формы изделия. Увлажнение сухой смеси происходит дозировано тонкораспыленной водой с размером капель не более 50 мкм. В воду можно добавлять различные присадки для изменения свойств получаемого армобетона. Например, кроме ПАВ, некоторые водорастворимые полимеры.

При смачивании сухой смеси тонкораспыленной водой, частицы цемента, минеральных добавок и волокна за счет капиллярного эффекта консолидируются, осажденный слой уплотняется. За счет наличия в бетонной смеси жидкой фазы, появляется хорошая проводимость. Ис-

ходя из конкретных условий, которые зависят от состава смеси, степени увлажнения, относительной влажности и температуры воздуха, определяют оптимальную циклограмму, по которой проводят осаждение сухой смеси, ее увлажнение и интервал времени для повторения циклов.

Операции осаждения смеси и увлажнения повторяют до получения армобетона нужной толщины. Для сплошных изделий осаждение проводят до закрытия всех отверстий в сетке основы. Далее процесс продолжают до выравнивания рельефа на поверхности изделия. В зависимости от назначения и конструкции изделия, тыльную сторону оставляют рельефной или электростатическим способом выравнивают. Или, если есть доступ к тыльной стороне, набирают нужную толщину бетона аккуратным торкретированием, при условии, что армобетон изделия уже набрал достаточную прочность.

Возвращаясь к орнаментальному шару, как составному элементу малой архитектуры, сетчатая основа которого делается на 3D принтере, заметим следующее. При проектировании шара и размера ячеек в сетке нужно учитывать толщину бетона, который будет покрывать сетку, чтобы отверстия в шаре остались нужного размера и смотрелись как элементы единого орнамента. В конце изготовления шар можно покрыть тонким слоем белого бетона. Кроме того, что белый бетон эстетичен, он обладает повышенной прочностью и водо- и морозостойкостью.

**Обсуждение результатов.** Технология электростатического формования другого изделия или сооружения, от рассмотренного выше, не имеет принципиальных отличий. Различие может быть в конструкции арматурно-сеточного каркаса, то есть формообразующей основы. Каркас может быть свободный или предварительно напряженный, с развитым оребрением или гладкий с местным усилением по периметру. Сетка может быть металлическая или углеродная, одинарная или двойная, многослойная с разным размером ячеек и т.д. Для некоторых сооружений с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями формообразующая сетка может быть льняной или из джута. Такая сетка не экранирует естественные электрическое и магнитное поля Земли.

Таким образом, видим, еще одно преимущество новой аддитивной технологии - полное отсутствие опалубки. Вместо опалубки достаточно иметь формообразующую основу, в виде арматурно-сеточного каркаса, который выполняет функцию арматуры вместе с волокнами, которые вносятся в бетон во время формирования изделия или сооружения.

Непринципиальное отличие от вышеописанной технологии может быть продиктовано различием в оборудовании. Для электроосаждения сухой смеси может быть использован ручной электростатический пистолет для сухих порошковых красок или стационарный распылитель или даже рампa с несколькими распылителями, размещенная на подвижной платформе или в захвате робота. Для дозированного увлажнения осажденной на основу смеси может быть применены распылители для воды среднего или низкого давления. Например, распылитель типа генератор «холодного или горячего тумана», камеры для термовлажностной обработки изделий.

При строительстве сооружения по новой аддитивной технологии сначала делают большую в плане заготовку из прочной сетки с местным усилением по периметру. Для чего используют мелкоструктурную стальную или углеродную сетку. Форма прочной напряженной и закрепленной сетки, определяет трехмерную геометрию сооружения. Например, в стиле немецкого архитектора Отто Фрая (Frei Otto) - одного из создателей так называемой «текстильной архитектуры» [10]. Это направление получило большое практическое развитие за рубежом в последние 30 лет. Формообразующая силовая сеточная основа сооружения, покрытая фибробетоном, может содержать световые фонари соответствующей формы. Световые фонари из современного светопрозрачного материала - политетрафторэтилена, усиленного прочной сеткой из стекловолокна (PTFE Coated Glass Lattice) [11, 13]. Политетрафторэтилен (тефлон) обладает очень высокой светостойкостью и низкой адгезией к большинству материалов, поэтому он долго не загрязняется пылью.

Интересно электростатический метод формования испытать для изготовления тонкостенных корпусных деталей сложной формы из бетона, армированного различными способами.

Например, пространственных оболочек, архитектурно-строительных деталей, и сооружений, мембран, полых колонн и стоек, опор линий электропередач, мелиоративных желобов, водоотводных труб большого диаметра, резервуаров и др. [12, 14–20].

**Вывод.** Кроме двух уже известных, предложен третий вид аддитивной технологии для строителей: электростатический метод формования изделий и сооружений из армобетона. На формообразующую основу изделия, сделанного, например, из стальной или углеродной сетки, в электростатическом поле осаждают сухую смесь из цемента, тонкого песка и упрочняющих волокон. Затем этот слой дозированно увлажняют тонкораспыленной водой с различными добавками. Циклы осаждения смеси и увлажнения повторяют до получения нужной толщины армобетона. Электростатическое наращивание слоев бетона происходит без механического воздействия на формообразующую основу. Значит, основу изделия можно делать из небольшого количества материала за малое время и любым доступным способом.

Это одно из важных достоинств новой технологии. Первые же слои фибробетона после выдержки времени придают формообразующей основе прочность. По мере наращивания толщины бетона рост прочности изделия растёт, опережая рост массы.

В новой аддитивной технологии, впервые реализована возможность просто регулировать В/Ц в широких пределах, независимо от сложности формы изделия. Такая возможность существует независимо от наличия узких ребер жесткости на изделии из армобетона. Другое преимущество новой аддитивной технологии - полное отсутствие опалубки. Вместо нее достаточно иметь формообразующую основу, которая в большинстве случаев одновременно выполняет функцию арматуры вместе с волокнами. Волокна вносятся в бетон в процессе формирования изделия или сооружения. При отлаженном режиме и серийном изготовлении формообразующей основы, существует возможность полной автоматизации производства изделий методом электростатического формования.

#### **Библиографический список:**

1. Dominguez I., Romero L., Espinosa M., Dominguez M. 3D printing of models and prototypes in architecture and construction. *Revista de la construccion*. 2013. – Vol. 12. – pp. 41-55.
2. Perrot A., Rangeard D., Pierre A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Materials and Structures / Matériaux et Constructions*. 2016. – Vol. 49. – PP. 1213-1220.
3. Кокоев М.Н., Федоров В.Т. Электростатическое формование изделий из армированного бетона // *Бетон и железобетон*. – 1997. № 6. – С. 17-19.
4. Федоров В.Т., Кокоев М.Н. 3D-принтер и электростатический фибробетон в архитектуре и строительстве // *Вестник отделения строительных наук РААСН*, Том 2. – 2019. – С. 548-554.
5. Кокоев М. Федоров В. Электростатический армированный бетон // *Строительные материалы*. 2004. – № 6. – С. 29-31.
6. Нахаев М.Р. Составы ОТДВ для инъекционного закрепления грунтов с комплексным наполнителем различного генезиса / И.Я. Харченко, М.Р. Нахаев, С-А.Ю. Муртазаев [и др.] // *Экология и промышленность России*. – 2015. – № 3. – С. 48-52.
7. Salamanova M.Sh., Murtazayev S-A. Yu., Alaskhanov A.Kh., Ismailova Z.Kh. Development of Multicomponent Binders Using Fine Powders // *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019;1:500-503. URL <https://www.atlantis-press.com/proceedings/isees-19/125914231>.
8. Salamanova M.Sh., Mintsaeв M. Sh., Murtazayev S.-A. Yu., Saidumov M.S. Ecological Aspect of the Usage of Ahy and Slag Waste in the Chechen Republic // *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research"* 177: 38-41. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/isees-18/articles>
9. Венюа М. Цементы и бетоны в строительстве. М.: Стройиздат. 1980. 415 с.
10. Леденев В.В., Худяков А.В. Оболочечные конструкции в строительстве. Теория, проектирование, конструкции, примеры расчета. Тамбов. Изд. «ТГТУ». 2016. 272 с.
11. ГОСТ 21509-76 от 1977-01-01 Лотки железобетонные оросительных систем. Технические условия.
12. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат. 1984. – 672 с.
13. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат. 1986. – 464 с.
14. Патент RU 2528332, МПК (2006.01) C04 B7, опуб. 10.09.2014. Интенсификаторы помола цементного клинкера.
15. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // *Успехи химии*. 2006. – Т. 75. – № 3. – С. 203-216.
16. Гергель В.И., Цариченко С.Г., Поляков Д.В. Пожаротушение тонкораспыленной водой установками высокого давления оперативного применения // *Пожарная безопасность*. – 2006. – № 2. – С.125-131.
17. Адамсон А.В. Физическая химия поверхностей. М.: Мир. 1979. – 568 с.

18. Аксельруд Г.А., Альшутлер М.А. Введение в капиллярно-химическую технологию. М.: Химия, 1983. – 263 с.
19. Moore F. G. Integration or segregation: How do molecules behave at oil/water interfaces / F. G. Moore, G. L. Richmondruen // *Accounts of Chemical Researchruen*. 2008. – Vol. 41, – № 6. – P. 739-748.
20. Дерягин Б. В. К вопросу об определении понятия и величины расклинивающего давления и его роли в статике и кинетике тонких слоев жидкостей // *Коллоидный журнал*. 1955. – т. 17. – В. 3.

#### References:

1. Dominguez I., Romero L., Espinosa M., Dominguez M. 3D printing of models and prototypes in architecture and construction. *Revista de la construccion*. 2013; 12: 41-55.
2. Perrot A., Rangedard D., Pierre A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Materials and Structures*. Matériaux et Constructions. 2016; 49:1213-1220.
3. Kokoev M.N., Fedorov V.T. Electrostatic molding of products from reinforced concrete. *Concrete and reinforced concrete*. 1997; 6:17-19. (In Russ)
4. Fedorov V.T., Kokoev M.N. 3D printer and electrostatic fiber-reinforced concrete in architecture and construction. Bulletin of the Department of Building Sciences RAASN. 2019; 2: 548-554. (In Russ)
5. Kokoev M. Fedorov V. Electrostatic reinforced concrete. *Building materials*. 2004; 6: 29-31. (In Russ)
6. Nakhaev M.R. OTDV compositions for injection fixing of soils with complex filler of various genesis/I.Ya. Kharchenko, M.R. Nakhaev, S-A.Yu. Murtazayev [et al.] *Ecology and Industry of Russia*. 2015; 3: 48-52. (In Russ)
7. Salamanova M.Sh., Murtazayev S-A. Yu., Alaskhanov A.Kh., Ismailova Z.Kh. Development of Multicomponent Binders Using Fine Powders. Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019; 1:500-503. URL <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/> 125914231. (In Russ)
8. Salamanova M.Sh., Mintsayev M. Sh., Murtazayev S.-A. Yu., Saidumov M.S. Ecological Aspect of the Usage of Ahy and Slag Waste in the Chechen Republic. Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" 177: 38-41. <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-18/articles> (In Russ)
9. Venyua M. Cements and concretes in construction. Moscow: *Stroyizdat*. 1980: 415.(In Russ)
10. Ledenev V.V., Khudyakov A.V. Shell structures in construction. *Theory, design, constructions, calculation examples. Tambov*. Ed. "TGTU". 2016: 272. (In Russ)
11. GOST 21509-76 of 1977-01-01 Reinforced concrete trays for irrigation systems. Specifications. (In Russ)
12. Bazhenov Yu.M., Komar A.G. Technology of concrete and reinforced concrete products. Moscow: *Stroyizdat*. 1984: 672. (In Russ)
13. Volzhensky A.V. Mineral binders. Moscow: *Stroyizdat*. 1986. – 464 p. (In Russ)
14. Patent RU 2528332, IPC (2006.01) C04 B7, publ. 09/10/2014. Cement clinker grinding intensifiers. (In Russ)
15. Boldyrev V.V. Mechanochemistry and mechanical activation of solids. *Uspekhi khimii*. 2006; 75(3): 203-216. (In Russ)
16. Gergel V.I., Tsarichenko S.G., Polyakov D.V. Fire extinguishing with finely sprayed water by high-pressure installations of operational use. *Fire safety*. 2006; 2:125-131. (In Russ)
17. Adamson A.V. Physical chemistry of surfaces. M.: *Mir*. 1979: 568. (In Russ)
18. Akselrud G.A., Altshuler M.A. Introduction to capillary-chemical technology. Moscow: *Chemistry*. 1983: 263. (In Russ)
19. Moore F. G. Integration or segregation: How do molecules behave at oil/water interfaces / F. G. Moore, G. L. Richmondruen. *Accounts of Chemical Researchruen*. 2008; 41(6): 739-748.
20. Deryagin B. V. On the definition of the concept and magnitude of the disjoining pressure and its role in the statics and kinetics of thin layers of liquids. *Colloid Journal*. 1955; 17: 3. (In Russ)

#### Сведения об авторе:

Нахаев Магомед Рамзанович, кандидат технических наук, доцент, институт строительства, архитектуры и дизайна, Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова, проректор по научной работе и инновациям Чеченского государственного университета имени А.А. Кадырова; [mr-nakhaev@mail.ru](mailto:mr-nakhaev@mail.ru)

#### Information about author:

Magomed R. Nakhaev., Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Institute of Construction, Architecture and Design, Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov, Vice-Rector for Research and Innovation, Kadyrov Chechen State University; [mr-nakhaev@mail.ru](mailto:mr-nakhaev@mail.ru)

#### Конфликт интересов. Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 30.05.2021.

Одобрена после рецензирования / Revised 19.06.2022.

Принята в печать/ Accepted for publication 19.06.2022.