DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-3-33-42

Денисова Ю.В., кандидат технических наук, доцент,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия
*Ответственный автор E-mail: jdenisowa@mail.ru

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация: рассмотрены основные инновационные технологии строительной 3-Д печати в современном строительстве. Данное направление исследований подтверждает актуальность выбранной проблемы. Разработка составов для строительной 3D-печати позволит осуществить возведение не только отдельных строительных конструкций, но и зданий и сооружений в целом. Разрабатываются экспериментальные составы с эффективными для строительной печати добавками, которые позволят получать достаточно плотную структуру бетона. Для оценки возможности использования кварцевых песков для применения их в 3-Д принтерах были проведены исследования их основных свойств. Показана роль аддитивных технологий в современном строительстве при возведении зданий и сооружений, что приведет в будущем к изменениям на строительном рынке.

Ключевые слова: песок, пробы, вяжущее, аддитивные технологии, принтеры, смеси, растворы, свойства, текучесть, вязкость, прочность

Введение

Современное строительство развивается с высокой скоростью за счет внедрения в его процесс инновационных технологий, а также современных материалов [1]. Строительную область можно назвать самой ресурсозатратной, так как для возведения зданий и сооружений требуется большое количество не возобновляемых ресурсов, расход которых увеличивается с возрастаниями потребностей людей. К ним относятся потребность в жилье, строительство производственных и общественных зданий [2]. В связи с чем возникает необходимость применения различных аддитивных технологий, которые смогли бы решить такие важные проблемы, как:

- энергозатратность;
- ресурсозатратность;
- низкая производственная эффективность,
- увеличение безопасности на строительной площадке.

С данными проблемами сталкиваются многие страны.

Аддитивные технологии представляют собой процесс послойного соединения или спаивания отдельных частей или материалов в единое целое, при этом общие затраты на строительство снижаются до 60%, что ведет к снижению стоимости готовой продукции [3].

К наиболее известным аддитивным технологиям относится использование в процессе строительства 3D-технологий, а именно принтеров. Сущность данного метода заключается в нанесении строительной смеси слоями друг на друга (рис. 1), а в некоторых случаях и создание сетчатой структуры, что становится возможным благодаря использованию быстротвердеющих смесей и растворов [4].

Рис. 1. Послойное нанесение сырьевой строительной смеси
Fig. 1. Layer-by-layer application of raw construction mixture

В строительных 3D-принтерах основной частью является печатающая «головка», в которую подается раствор [5]. В некоторых установках предусмотрено приготовление смеси непосредственно в самой «головке». К преимуществам послойного нанесения можно отнести такие факторы как:

- возможность изменения формы конструкции в процессе ее изготовления,

- изготовление конструкций сложных геометрических форм,
- низкие трудозатраты,
- быстрота возведения (не нужно устанавливать и разбирать опалубку для каждой конструкции),
- высокое качество,
- экономичных расход строительных материалов.

Используемые принтеры могут различаться в зависимости от вида возводимой конструкции, условия возведения и от типа строительных материалов [6]. Наиболее распространенными видами 3D-принтеров являются: самоходные (рис. 2), с телескопическим устройством (рис. 3) и порталные.

Рис. 2. Мобильный самоходный принтер на гусеничном ходу
Fig. 2. Mobile self-propelled track printer

Рис. 3. Принтер с телескопическим устройством
Fig. 3. Printer with telescopic device

В совокупности с использованием 3D-принтеров следует применять современные строительные материалы, которые будут отличаться своей экономичностью и низкой стоимостью. Состав рабочей смеси (рис. 4) принтера будет зависеть от условий эксплуатации.

Рис. 4. Сертифицированные строительные смеси для 3D- принтеров
Fig. 4. Certified building mixtures for 3D- printers

Первыми, кто начал использовать 3D-принтеры для строительства жилых зданий стали ученые из Китая. Так, в 2014 году при помощи принтера «WinSun», они смогли создать десять 5-ти этажных домов (рис. 5). «WinSun» – позволяет возводить здания высотой до 6м в кратчайшие сроки.

Рис. 5. Пятиэтажный жилой дом, построенных с помощью 3Д-принтера
Fig. 5. Five-storey residential building built with a 3D printer

Разработкой и изготовлением сейчас занимаются ученые из многих стран мира, в том числе и в России [7]. Компания «Спецавия» производит несколько видов 3D-принтеров, которые способны «напечатать» бетонные элементы зданий и сооружений, с помощью установки S-1160 (рис. 6), объемом 36 м^3 .

Рис. 6. Установка S-1160
Fig. 6. S-1160 installation

В настоящее время аддитивные технологии в строительстве не используются широко, это объясняется несколькими факторами. К ним можно отнести высокую стоимость самого оборудования и его аренды, а также их небольшое количество [8]. Еще одним препятствием к внедрению аддитивных технологий является отсутствие нормативной базы для их использования. В будущем ученые предполагают усовершенствовать технологию производства 3D-принтеров, что позволит снизить их рыночную стоимость и массово внедрить на строительный рынок. Применение инновационных технологий будет способствовать значительному снижению стоимости строительства [9].

Для создания оптимальной строительной конструкции с использованием аддитивных технологий уже на первом этапе проектирования должны учитываться требования по жесткости, прочности, долговечности при различных эксплуатационных режимах. Поэтому подбор и изучение сырьевых материалов является первостепенной задачей [10].

Сегодня для 3-Д принтеров возможно применение различных полимеров, порошки стальных порошков, сплавов таких элементов, как титан, никель, алюминий, медь, керамика и так далее [11-12]. Но в сфере строительства аддитивные технологии ещё не приобрели масштабного использования, так как сырьевые материалы находятся в стадии исследования и разработки.

Таким образом, на первом этапе исследовательской работы актуальным направлением в аддитивных технологиях считается в настоящее время проблема подбора и качества заполнителя – песка, как одного из основных видов мелкого заполнителя [13]. Как известно, стоимость заполнителя составляет до 60% от стоимости изделий, поэтому применение доступных заполнителей в ряде случаев снижает стоимость как самого строительства, так и приводит к уменьшению объема транспортных затрат и приводит к сокращению сроков строительства. Как известно, мелкий строительный песок используют для приготовления цементно-песчаных растворов. В Белгородской области разрабатываются карьеры песка. Этот песок не требует особенных условий для его хранения и широко используется в строительстве. Такой вид мелкого заполнителя можно применять для строительных работ фундаментов, а также при производстве бетонных изделий [14].

Материалы и методы

Для проведения опытно-экспериментальных работ применялся в качестве вяжущего портландцемент ПЦ500ДО (ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТ 30515) производства ЗАО «Белгородский цемент» г. Белгород с истинной плотностью 3119 кг/м³ и насыпной плотностью 1203 кг/м³, нормальной густотой цементного теста – 25%. Марка цемента была определена пределом прочности при изгибе контрольных образцов-балочек размером 40×40×160 мм и сжатии их половинок из цементно-песчаного раствора состава 1:3 со стандартным монофракционным песком, изготовленных и твердевших в соответствии с требованиями ГОСТ 310.4 и испытанных через 28 суток с момента изготовления [15]. Предел прочности при изгибе составил не менее 6 МПа, при сжатии – не менее 50 МПа. Массовая доля ангидрида серной кислоты по ГОСТ не превысила 3,5% по массе. Тонкость помола цемента при просеивании пробы цемента сквозь сито с размером сетки №008 по ГОСТ 6613 проходит не менее 85% от веса пробы. Начало схватывания наступило 2 ч. 8 мин., а конец – 3 ч. 17 минут от начала затворения, равномерность изменения объема составила 0, 12 мм; содержанием SO₃ – 2,44%. Средняя активность вяжущего в возрасте 2 сут составила 19,1 МПа, а в возрасте 28 суток – 54,2 МПа, что отвечает требованиям ГОСТ 31108 – 2003 [16].

Изначально исследовали минеральный и вещественный состав цемента, который соответствует нормам и требованиям в ГОСТе 31108–2003. Рентгенограмма цемента представлена на рис. 7.

Рис. 7. РФА ЦЕМ I 42,5 Н

Fig. 7. RFA CEM I 42.5 N

Химический (определяемый по ГОСТ 5382 – 91) и минералогический составы вяжущего представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав вяжущего марки ЦЕМ I 42,5 Н, мас. %

Table 1

Chemical composition of grade CEM I 42.5 N, wt. % astringent materials

Вид вяжущего	SiO ₂ , %	CaO, %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	CaO св., %	MgO, %	SO ₃ , %	R ₂ O, %
ЦЕМ I 42,5 Н	22,49	67,21	4,69	4,42	0,30	0,43	2,44	0,62

Таблица 2

Минералогический состав вяжущего марки ЦЕМ I 42,5 Н, мас. %

Table 2

Mineralogical composition of grade CEM I 42.5 N, wt. % astringent materials

Вид вяжущего	C ₃ S, %	C ₂ S, %	C ₃ A, %	C ₄ AF, %
ЦЕМ I 42,5 Н	65,18	17,09	5,13	12,6

В качестве мелкого заполнителя сравнивались кварцевые пески Курского (Курская обл.) и Новотаволжанского (Белгородская обл.) месторождений. Характеристики данных видов песков представлены в табл. 3 и 4. Пустотность песков 36%, содержание глинистых, илистых и пылевидных частиц от 0,4 до 1,4%, влажность 6%. Была определена плотность рассматриваемых кварцевых песков (табл. 3).

Таблица 3

Плотность кварцевых песков

Table 3

Quartz sand density

Наименование	Насыпная плотность	Истинная плотность
Курский песок	1504	2540
Новотаволжанский песок	1399	2535

Мелкие пористые заполнители проверены на соответствие требованиям ГОСТ 32496. В качестве мелко-го заполнителя применялся природный песок, в котором проверен зерновой состав, определена насыпная плотность [17]. Песок соответствует требованиям ГОСТ 8736-2014. Межгосударственный стандарт. Песок

для строительных работ. Технические условия" (введен в действие Приказом Росстандарта от 18.11.2014 N 1641-ст). Модуль крупности составил 1,41 (Новотаволжанский) и 1,71 (Курский), а влажность в пределах 4%, насыпная плотность песка составила: 1399 кг/м³ (Новотаволжанский), 1504 кг/м³ (Курский).

Вода для затворения смеси проверена на соответствие ГОСТ 23732-2011. Межгосударственный стандарт. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия" (введен в действие Приказом Росстандарта от 31.05.2012 N 97-ст) ГОСТ 23732.

Отбор и подготовку проб песка для контроля качества проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 8735-88. Были отобраны точечные пробы, из которых путем смешивания получали одну объединенную пробу. Гранулометрический состав песка оценивали путем просеивания его через стандартный набор сит [18]. Для просеивания песка применяли сита №2,5; 1,25; 063; 0,315 и 016. По результатам рассева определяли частные и полные остатки на ситах, модуль крупности и содержание зерен менее 0,16 мм. Как показал анализ результатов определения гранулометрического состава и модуля крупности, пески Новотаволжанского месторождения в основном относятся к мелким и очень мелким, согласно классификации ГОСТ 8736-93. Песок кварцевый можно применять для изготовления растворов ($M_{кр}=1,2-1,5$ мм) и для производства сухих строительных смесей ($M_{кр}=0,8-1,2$).

Как известно, использование мелких песков, которые обладают достаточно большой удельной поверхностью, ведет к перерасходу цемента в составе раствора. Для ликвидации этого фактора при применении мелких песков в составе раствора целесообразно применять правильно подобранные добавки. Так же непосредственно содержание мелких зерен в кварцевых песках, которые проходят через сито с размером ячеек 0,16 мм, не должно превышать для песка, используемого в строительных растворах, 20%, а в бетонах – 10% [19].

Таким образом, на основании проведенных исследований, выявлено, что пески, добытые в Новотаволжанском карьере, нуждаются в дополнительной промывке непосредственно перед использованием для возможного снижения содержания глинистых и пылевидных частиц. Это возможно осуществлять в промывочной станции, что позволит в свою очередь улучшать качество добываемого кварцевого песка. Для более полной оценки качества кварцевых песков в настоящее время проводятся дополнительные исследовательские работы.

Сами по себе цементные составы, как известно, не могут соответствовать оптимальным условиям для 3D-печати [20]. Необходимо добиться такого качественного состава, который будет обладать достаточными тиксотропными свойствами и, немаловажным фактором для аддитивных технологий, является способность снижения вязкости смеси при механическом воздействии на нее.

Таким образом, смесь для строительной 3D-печати должна учитывать такие факторы, как способности увеличения силы сцепления между слоями с течением времени и напечатанный материал должен затвердевать достаточно быстро, для возможности выдерживания вышележащих слоев без деформаций [21]. Процесс выдержки нижних слоев будет приводит к увеличению времени печати зданий или их отдельных конструкций. Это влияет на подбор оптимальной скорости печати для определенных составов для аддитивных технологий [22]. При этом важным фактором считается правильное определение рационального интервала между двумя последовательно напечатанными слоями, который позволит приобрести нижнему слою достаточную прочность и обеспечит прочное сцепление между нижним и верхним слоями.

В настоящее время ведутся работы по определению оптимального предела текучести напечатанных слоев. Самый нижний слой воспринимает максимальные нагрузки в процессе строительной печати. Предел текучести смеси должен позволять выдерживать все эти нагрузки во время печати и в процессе эксплуатации конструкции и здания в целом [23]. Ведутся работы по рациональному и оптимальному подбору экструзионных параметров смеси, при этом учитываются такие факторы, как оптимальная текучесть и стабильные качества каждого из напечатанных слоев. При этом предел текучести в состоянии абсолютного покоя возрастает с течением времени [24].

Проведенные исследования показали, что для высококачественной 3-Д печати необходимо обеспечить начальный предел текучести материала не менее 3,5-4 кПа. Экспериментальные работы в данном направлении продолжаются и в настоящее время, проводятся испытания экспериментальных составов с эффективными для строительной печати добавками, которые позволят получать достаточно плотную структуру бетона, приведут к увеличению прочностных показателей на изгиб и позволят, уменьшить проницаемость непосредственно самой его структуры [25].

Результаты и обсуждения

На первом этапе исследований было определено время схватывания, результаты испытаний которых представлены в табл. 4.

Таблица 4

Время схватывания исследуемых составов

Table 4

Setting time of test compounds

Номер состава	Время схватывания	
	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин
1	16	28
2	37	47
3	78	94
4	26	39
5	49	60
6	89	111

Следующим этапом проведения экспериментальных работ было определение физико-механических характеристик растворов: с гипсовым раствором В/Г = 0,32-0,35, цементно-песчаными растворами: с соотношением частей цемента и песка – 1:1 (В/Ц = 0,40 - 0,42), а также растворами марок М50, М75 и М100.

Вышеуказанные растворы исследовались в качестве объектов достижения цели исследования и доказательства предложенной гипотезы – необходимо подобрать такие составы растворной смеси для строительной печати, которые будут иметь необходимые характеристики. Смесь для 3-Д печати должна иметь высокую раннюю прочность, чтобы гарантировать, что материал может поддерживать собственный вес и вышележащие слои, так как при прогрессе печати нижние слои должны будут выдерживать нагрузку всей высоты стены за 2-3 часа.

Величину растекаемости определяют путем отсчета диаметра расплыва в двух направлениях, соответствующих наибольшему и наименьшему диаметру расплыва, и вычисляют среднее из этих двух значений. Чтобы приготовить кубики для испытаний на сжатие цементного теста, необходимо 100г – цемента смешать с необходимым количеством воды до получения цементного теста нормальной густоты. Нормальная густота теста определяется с помощью прибора Вика.

Определение прочностных показателей производили на образцах из цементного теста (смесь цемента и воды), так и на образцах цементного раствора (смесь цемента, воды с добавлением добавок). Для испытаний цементного теста на сжатие изготавливают кубики размером 20*20*20 мм, для раствора – кубы размером 75*75*75 мм. Перед испытанием образцы подвергали визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде сколов ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, сколы ребер в испытаниях не участвовали.

Для снижения содержания воды был добавлен суперпластификатор в растворную смесь, что позволяет достигнуть более высокой конечной прочности, поэтому было определено также необходимое водоцементное соотношение, находящееся в пределах 0,35-0,38.

В соответствии с результатами, приведенными в табл. 5, ранняя прочность на сжатие через 3 суток составляет в среднем более 10 МПа, что является достаточным для поддержания полной массы вышележащих напечатанных слоев. Результаты испытаний показывают разницу между различными направлениями нагрузки (сжимающей и изгибающей), что говорит о силе и характере сцепления в каждом слое. Таким образом, прочностные характеристики между различными слоями растворов необходимо еще в достаточной степени изучить, определить направление установки, количество и вид армирующих элементов, что является одной из основных направлений изучения при проектировании возводимых печатных конструкций.

Таблица 5

Результаты испытаний

Table 5

Test results

Номер состава	Нормальная густота	Время схватывания, мин		Прочность на сжатие, МПа		Прочность на изгиб, МПа	
		Начало схватывания	Конец схватывания	3 суток	28 суток	3 суток	28 суток
1	27,9	45	73	47,6	55,7	7,7	8,6
2	28,1	183	237	28,4	52,5	5,3	8,1
3	28,7	59	180	30,7	48,0	4,9	7,5
4	27,3	64	158	27,7	37,2	4,2	7,1
5	29,8	62	163	23,6	31,7	3,6	6,4
6	28,6	89	194	13,5	35,4	2,4	6,3

Исследования растворов проводились также с добавками замедлителями схватывания, при этом эффект был виден уже на ранней стадии, где в определенной дозе она действовала как ускоритель. Это абсолютно не подходит для процесса строительной печати и, соответственно, такие составы были исключены из дальнейших экспериментов. Введение с состав смеси ускорителя твердения приводит к уменьшению заряда клинкерных частиц, что в начальный период твердения способствует уменьшению адсорбционного слоя воды, что в свою очередь создает предпосылки для получения раствора с большей плотностью и прочностью. Помимо этого введение добавки способствует росту скорости взаимодействия клинкерных минералов с водой и, как следствие, более интенсивному твердению. При повышении дозировки определенных замедлителей схватывания наблюдалось резкое увеличение количества воды затворения, что также негативно сказывается на свойствах растворной смеси, необходимых для процесса 3D-печати, и, соответственно, они также были исключены из дальнейших исследований.

Также было установлено, что ускоритель твердения в комплексе с пластификатором, воздухововлекающим пластификатором и воздухововлекающей добавкой способствует частичной или полной нейтрализации отрицательного воздействия последних на процессы схватывания и твердения раствора. Как правило, использование ускорителя является неэффективным, если в комплексе не используется добавка замедляющая процессы структурообразования. В таких случаях способствует лишь незначительному росту прочности на ранних стадиях твердения. При В/Ц = 0,3 наблюдается прямолинейная зависимость прочности от расхода цемента, это обусловлено тем что низком содержании цемента снижается удобоукладываемость смеси и как следствие ее плотность и прочность. При увеличении водоцементного отношения до 0,4 наивысшая прочность достигается при оптимальном соотношении цемента и песка, которое обеспечивает максимальную плотность бетонной смеси. В случае более низких водоцементных отношений получить мелкозернистый бетон с прочностью больше чем у крупнозернистого можно путем обеспечения хорошего уплотнения смеси. На степень снижения прочности влияет ряд факторов, в частности, качество используемых сырьевых материалов, а также технология уплотнения бетонной смеси. В ряде случаев, при обычном уплотнении цементно-песчаной смеси вибрированием, наблюдается вовлечение воздуха, который распределяется по всему объему в виде мельчайших пузырьков, снижая пористость и прочность конечного изделия. При этом воздухововлечение растет с ростом жесткости смеси. Исходя из этого при необходимости получения более плотных и прочных бетонов необходимо применять методы уплотнения, способствующие минимальному воздухововлечению. Как известно песок обладает большей пустотностью в сравнении со смесью песка и щебня, в связи с чем при использовании более тощих смесей с соотношением цемент:песок – 1:3, цементного теста может быть не достаточно для покрытия всех зерен песка и заполнению пустот. В данном случае образуется дополнительный объем пор, который отрицательно сказывается на прочности бетона, это и является основным фактором, который объясняет сложность получения прочный песчаных бетонов с пониженным расходом цемента (200...300 кг/м³), который характерен для обычного бетона.

Прочностные показатели цементных образцов при введении суперпластификатора определяли в 7 и 28 суточном возрасте по методике определения предела прочности при сжатии и изгибе. Оптимальную дозировку добавки при этом вводили с водой затворения, 0,4% от массы цемента, а затем при введении ее сокращали воду на 25%. Результаты испытаний приведены в табл. 6.

Таблица 6

Зависимость прочности при сжатии образцов-кубиков от времени твердения

Table 6

Dependence of compressive strength of cubic samples on hardening time

Наименование	В/Ц	Плотность г/см ³	Предел прочности при сжатии через, сут. МПа	
			7	28
1. Контрольный состав	0,39	2,132; 2,319	31,9	67
СП (0,4%)	0,39	2,202	33,7	74
СП(0,4%) сокращение воды на 25%	0,29	2,237	38,5	88,2

Выводы

При введении добавки в начальный период твердения до 1-3 суток наблюдается некоторое замедление гидратации цемента, которое компенсируется в последующем, при этом сроки схватывания изменяются незначительно. Введение добавки суперпластификатора улучшает поровую структуру цементного камня, уменьшает размер пор и увеличивает долю закрытой пористости, что приводит, особенно при сокращении водоцементного отношения, к значительному увеличению морозостойкости бетона.

Данное направление исследований подтверждает актуальность выбранной проблемы, а разработка составов для строительной 3D-печати представляет огромный интерес ведущих ученых не только нашей страны ищет решение вопросов реализации возведения не только отдельных строительных конструкций, но и зданий и сооружений в целом. Работа в данном направлении продолжается.

Благодарность

Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

Литература

1. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 сентября 2015 г. N1013 "О создании технического комитета по стандартизации "Аддитивные технологии" [Электронный ресурс] // Информационно-правовой портал Гарант.ру. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71074904/> (дата обращения: 27.09.2016)
2. Gálvez J. A. Not Just a Pretty Face: Three-Dimensional Printed Custom Airway Management Devices // 3D Printing and Additive Manufacturing. 2016. V. 3. N3. С. 160 – 165.
3. Kreiger M.A., MacAllister B.A., Wilhoit J.M., Case M.P. The current state of 3D printing for use in construction // The Proceedings of the 2015 Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure. Ames. Iowa. 2015. P. 149 – 158.
4. Herderick E.D. Additive Manufacturing in the Minerals, Metals, and Materials Community: Past, Present, and Exciting Future // JOM. 2016. V. 68. N3. P. 721 – 723.
5. L. Xi-Qiang, L. Jing-Fang, Z. Tao, H. Liang, Z. Nan, L. Juan, L. Guoyou. Cement-based composite material used for 3D printing technology as well as preparation method and application thereof: пат. CN104310918A. 2014.
6. Y. Tianrong, L. Qiaoling. 3D printing cement-based material and preparation method thereof: CN104891891A. 2015.
7. Campbell T., C. Williams, O. Ivanova. Could 3D printing change the world. Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing, Atlantic Council, Washington, DC. 2011.
8. Малышева В. Л., Красимирова С. С. Возможности 3D принтера в строительстве // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 12-2.
9. Мустафин Н.Ш., Барышников А.А. Новейшие технологии в строительстве. 3D принтер // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. 2015. № 8 (12).
10. Камалова З.А. и др. Суперпластификаторы в технологии изготовления композиционного бетона // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. №8. С. 148 – 152.
11. Барабанщиков Ю.Г., Архарова А.А., Терновский М.В. Бетон с пониженной усадкой и ползучестью // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №7 (22). С. 152 – 165.
12. РААСН. Концепция проектирования и строительства жилых домов нового поколения // Новые материалы, конструкции, оборудование и технологии в строительном комплексе Москвы / ТИ КАСРРГ. 01.02.2000.
13. Денисова Ю.В., Черноситова Е.С. Статистический анализ качества песка при геологической разведке нового месторождения // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. №3. С. 37-40.
14. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2003. 500 с.
15. Гридчин А.М., Косухин М.М., Лесовик Р.В. Строительное материаловедение. Бетонovedение: лабораторный практикум. 2-е изд., перераб. и доп. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. 366 с.
16. Бабков В.В., Сахибгареев Р.Р., Колесник Г.С. и др. Рациональные области применения модифицированных бетонов в современном строительстве // Строительные материалы. 2006. №10. С. 20 – 22.
17. Денисова Ю.В., Косухин М.М., Попова А.В. и др. Вибропрессованные бетоны с суперпластификатором на основе резорцин-формальдегидных олигомеров // Строит. Материалы. 2006. №10. С. 32 – 33.
18. Shapovalov N.A., Denisova J.V., Poluektova V.A. Biocidal research of oxyphenolic modifiers for fungicidal properties // International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. V. 8. №4. P. 24976 – 24986.
19. Шаповалов И.В., Огрель Л.Ю., Косухин М.М., Павленко В.И., Попова Ю.В., Шаповалов Н.А., Слюсарь А.А. Фунгицидный модификатор минеральных строительных композиций. Патент 2235695 РФ // Оpubл. 07.10.02 С. 6.
20. Шаповалов И.В., Огрель Л.Ю., Косухин М.М. и др. Фунгицидный модификатор минеральных строительных композиций // Экологические системы и приборы. 2006. №4. С. 50 – 51.
21. Статистический анализ данных о качестве камней бетонных стеновых / Ю.В. Денисова, Е.С. Черноситова // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы областной научно-

практической конференции, Белгород, 22 декабря 2010 г.: в 3 частях / БГТУ им. В.Г. Шухова.: Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. Ч. 3. С. 11 – 15.

22. Fitzpatrick J.J., Barringer S.A., Iqbal T. Flow property measurement of food powder and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values // J. Food Engineering. 2004. №61. P. 399 – 405.

23. Fitzpatrick J.J., Ahrne L. Food powder handling and processing: Industry problems, knowledge barriers and research opportunities // Chem. EngineeringProc. 2005. 44(2). P. 209 – 214.

24. Marinelli J., Carson J.W. Solve solids flow problems in bins, hoppers and feeders // Chem. EngineeringProc. 1992. 88(5). P. 22 – 28.

25. Андрианов Е.И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. М.: Металлургия, 1982. 256 с.

References

1. Prikaz Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 1 sentyabrya 2015 g. N1013 "O sozdanii tekhnicheskogo komiteta po standartizacii "Additivnye tekhnologii" [Elektronnyj resurs] // Informacionno-pravovoj portal Garant.ru. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71074904/> (data obrashcheniya: 27.09.2016) (rus.)

2. Gálvez J. A. Not Just a Pretty Face: Three-Dimensional Printed Custom Airway Management Devices. 3D Printing and Additive Manufacturing. 2016. 3 (3). P. 160 – 165.

3. Kreiger M.A., MacAllister B.A., Wilhoit J.M., Case M.P. The current state of 3D printing for use in construction. The Proceedings of the 2015 Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infra-structure. Ames. Iowa. 2015. P. 149 – 158.

4. Herderick E.D. Additive Manufacturing in the Minerals, Metals, and Materials Community: Past, Present, and Exciting Future. JOM. 2016. 68 (3). P. 721 – 723.

5. L. Xi-Qiang, L. Jing-Fang, Z. Tao, H. Liang, Z. Nan, L. Juan, L. Guoyou. Cement-based composite material used for 3D printing technology as well as preparation method and application thereof: pat. CN104310918A. 2014.

6. Y. Tianrong, L. Qiaoling. 3D printing cement-based material and preparation method thereof: CN104891891A. 2015.

7. Campbell T., C. Williams, O. Ivanova. Could 3D printing change the world. Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing, Atlantic Council, Washington, DC. 2011.

8. Malysheva V. L., Krasimirova S. S. Vozmozhnosti 3D printera v stroitel'stve. Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2013. 12-2. (rus.)

9. Mustafin N.SH., Baryshnikov A.A. Novejshie tekhnologii v stroitel'stve. 3D printer. Regional'noe razvitie: ehlektronnyj nauchno-prakticheskij zhurnal. 2015. 8 (12). (rus.)

10. Kamalova Z.A. i dr. Superplastifikatory v tekhnologii izgotovleniya kompozicionnogo betona. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. 16 (8). P. 148 – 152. (rus.)

11. Barabanshchikov YU.G., Arharova A.A., Ternovskij M.V. Beton s ponizhennoj usadkoj i polzuchest'yu. Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2014. 7 (22). P. 152 – 165. (rus.)

12. RAASN. Koncepciya proektirovaniya i stroitel'stva zhilyh domov novogo pokoleniya. Novye materialy, konstrukcii, oborudovanie i tekhnologii v stroitel'nom komplekse Moskvy. TI KASRRG. 01.02.2000. (rus.)

13. Denisova YU.V., CHernositova E.S. Statisticheskij analiz kachestva peska pri geologicheskoy razvedke novogo mestorozhdeniya. Vestnik BGТУ im. V. G. SHuhova, 2012. 3. P. 37-40. (rus.)

14. Bazhenov YU.M. Tekhnologiya betona. M.: Izd-vo ASV, 2003. 500 p. (rus.)

15. Gridchin A.M., Kosuhin M.M., Lesovik R.V. Stroitel'noe materialovedenie. Betonovedenie: laboratornyj praktikum. 2-e izd., pererab. i dop. Belgorod: Izd-vo BGТУ im. V.G. SHuhova, 2005. 366 p. (rus.)

16. Babkov V.V., Sahibgariev R.R., Kolesnik G.S. i dr. Racional'nye oblasti primeneniya modifitsirovannykh betonov v sovremennom stroitel'stve. Stroitel'nye materialy. 2006. 10. P. 20 – 22. (rus.)

17. Denisova YU.V., Kosuhin M.M., Popova A.V. i dr. Vibropressovannye betony s superplastifikatorom na osnove rezorcin-formal'degidnykh oligomerov. Stroitel'nye materialy. 2006. 10. P. 32 – 33. (rus.)

18. Shapovalov N.A., Denisova J.V., Poluektova V.A. Biocidal research of oxyphenolic modifiers for fungicidal properties. International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. 8 (4). P. 24976 – 24986.

19. SHapovalov I.V., Ogrel' L.YU., Kosuhin M.M., Pavlenko V.I., Popova YU.V., SHapovalov N.A., Slyusar' A.A. Fungitsidnyj modifikator mineral'nykh stroitel'nykh kompozitsij. Patent 2235695 RF. Opubl. 07.10.02 P. 6. (rus.)

20. SHapovalov I.V., Ogrel' L.YU., Kosuhin M.M. i dr. Fungitsidnyj modifikator mineral'nykh stroitel'nykh kompozitsij. EHkologicheskie sistemy i pribory. 2006. 4. P. 50 – 51. (rus.)

21. Statisticheskij analiz dannykh o kachestve kamnej betonnykh stenovykh / YU.V. Denisova, E.S. CHernositova. Belgorodskaya oblast': proshloe, nastoyashchee i budushchee: materialy oblastnoj nauchno-prakticheskoy konfer-

encii, Belgorod, 22 dekabrya 2010 g.: v 3 chastyah. BGTU im. V.G. SHuhova.: Belgorod: Izd-vo BGTU im. V.G. SHuhova, 2011. CH. Z. P. 11 – 15. (rus.)

22. Fitzpatrick J.J., Barringer S.A., Iqbal T. Flow property measurement of food powder and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. J. Food Engineering. 2004. 61. P. 399 – 405.

23. Fitzpatrick J.J., Ahrne L. Food powder handling and processing: Industry problems, knowledge barriers and research opportunities. Chem. EngineeringProc. 2005. 44 (2). P. 209 – 214.

24. Marinelli J., Carson J.W. Solve solids flow problems in bins, hoppers and feeders. Chem. EngineeringProc. 1992. 88 (5). P. 22 – 28.

25. Andrianov E.I. Metody opredeleniya strukturno-mekhanicheskikh harakteristik poroshkoobraznykh materialov. M.: Metallurgiya, 1982. 256 p. (rus.)

**Denisova Yu.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhov, Russia**

*Corresponding author E-mail: jdenisowa@mail.ru

ADDITIVE TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION

Abstract: the main innovative technologies of construction 3-D printing in modern construction are considered. This direction of research confirms the relevance of the selected issue. Development of compositions for building 3D printing allows for construction of not only individual constructions, but also buildings and constructions in general. Experimental compositions with effective for building print supplements will receive enough dense structure of concrete are developed. To assess the use of quartz sand for use in 3-d printers studies were conducted of their basic properties. The role of additive technologies in modern construction in the construction of buildings and structures that will lead to future changes in the construction market.

Keywords: sand, samples, astringent, additive technology, printers, mixtures, solutions, properties, fluidity, viscosity, strength

Для цитирования: Денисова Ю.В. Аддитивные технологии в строительстве // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №3. С. 33 – 42. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-3-33-42

For citation: Denisova Yu.V. Additive technology in construction. Construction Materials and Products. 2018. 1 (3). P. 33 – 42. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-3-33-42

Поступила в редакцию 12 января 2018 г.

Принята в доработанном виде 3 марта 2018 г.

Одобрена для публикации 19 июля 2018 г.

Received: January 12, 2018.

Revised: March 3, 2018.

Accepted: July 19, 2018.