

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №3, Том 13 / 2021, No 3, Vol 13 <https://esj.today/issue-3-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/29SAVN321.pdf>

DOI: 10.15862/29SAVN321 (<https://doi.org/10.15862/29SAVN321>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Бондарев Б.А., Баязов В.А., Корнеев О.О., Востриков И.А., Мещеряков А.А., Корнеева А.О. Подбор составов смесей для 3D печати // Вестник Евразийской науки, 2021 №3, <https://esj.today/PDF/29SAVN321.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/29SAVN321

**For citation:**

Bondarev B.A., Bayazov V.A., Korneev O.O., Vostrikov I.A., Meshcheryakov A.A., Korneeva A.O. (2021). Selection of mixtures for 3D printing. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/29SAVN321.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/29SAVN321

**Бондарев Борис Александрович**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия  
Профессор кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: [lnsp-48@mail.ru](mailto:lnsp-48@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9270>

**Баязов Вениамин Алексеевич**

ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной  
службы при Президенте Российской Федерации», Москва, Россия

Магистр кафедры «Государственной, муниципальной службы и менеджмента»

E-mail: [aelita1972@mail.ru](mailto:aelita1972@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9799-0543>

**Корнеев Олег Олегович**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия

Аспирант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»

E-mail: [pao2010@rambler.ru](mailto:pao2010@rambler.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8036-8846>

**Востриков Илья Алексеевич**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия

Магистрант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»

E-mail: [stalKAIII007@gmail.com](mailto:stalKAIII007@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3430-9773>

**Мещеряков Алексей Андреевич**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия

Магистр кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»

E-mail: [alekseymesheryakov48@gmail.com](mailto:alekseymesheryakov48@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-6152>

**Корнеева Анастасия Олеговна**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия

Доцент кафедры «Металлургические технологии»

E-mail: [2010anasta@mail.ru](mailto:2010anasta@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2434-9536>

## Подбор составов смесей для 3D печати

**Аннотация.** В настоящее время строительная отрасль нуждается в снижении материально-технических, энергетических, трудовых, а в результате, и финансовых затрат,

уменьшении риска получения травм в процессе производства и повышении качества готовой продукции посредством механизации и автоматизации, повышает интерес к возможностям аддитивных технологий при возведении конструкций зданий и сооружений. Ежегодно объемы работ по возведению объектов с применением 3D технологий растут достаточно интенсивно и это становится все более актуальным.

Высокие темпы строительства, безопасность, снижение возможности проектных отклонений, благодаря точности 3D принтера, широкое применение криволинейных структур, позволяющее не только снизить напряжения, но и повысить уровень стилистического качества, все это рождает спрос на аддитивные технологии.

В данной работе приведены результаты экспериментов, позволяющие продолжить разработки в области оптимизации составов строительных смесей в экспериментальном строительстве с применением 3D печати, т. к. в Российской Федерации зарождается направление в области исследования строительных материалов для аддитивных технологий. В статье изложены результаты по оптимизации состава строительных смесей, применяемых для аддитивных технологий для Липецкого региона, т. к. в ее состав входит доменный шлак, который является побочным продуктом ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат». В результате испытаний бетонной смеси установлено, что плотность составляет  $1940,3 \text{ кг/м}^3$ , сроки схватывания: начало — 3 часа 20 мин, конец — 4 часа, подвижность по погружению конуса, 3,40 мм, прочность (28 суток): при сжатии — 30,4 МПа, при изгибе — 4,7 Мпа. Данные свидетельствуют о том, что полученная смесь обладает необходимыми реологическими свойствами и оптимальными сроками схватывания и вполне может применяться для возведения зданий и сооружений с помощью 3D печати.

Таким образом, результаты данной работы позволят продолжить разработки в области оптимизации составов строительных смесей в экспериментальном строительстве с применением 3D печати, т. к. в Российской Федерации зарождается направление в области исследования строительных материалов для аддитивных технологий.

**Ключевые слова:** 3D печать; бетонная смесь; сроки схватывания; реологические свойства; подвижность бетонной смеси; 3D принтер; аддитивные технологии; микрокремнезем; доменный шлак

## Введение

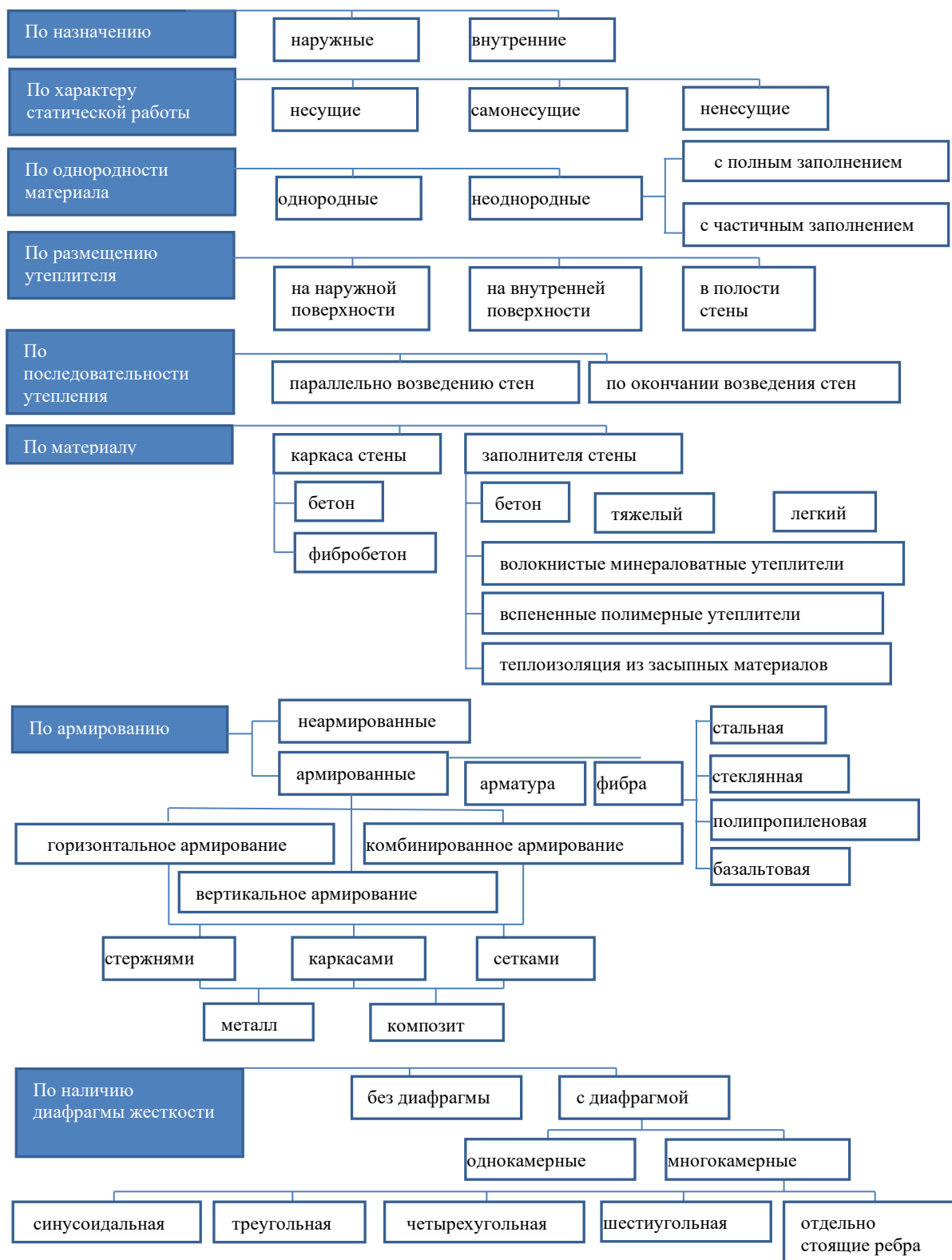
В настоящее время строительная отрасль нуждается в снижении материально-технических, энергетических, трудовых, а в результате, и финансовых затрат, уменьшении риска получения травм в процессе производства и повышении качества готовой продукции посредством механизации и автоматизации, повышает интерес к возможностям аддитивных технологий при возведении конструкций зданий и сооружений. Ежегодно объемы работ по возведению объектов с применением 3D технологий растут достаточно интенсивно и это становится все более актуальным [1; 2].

Высокие темпы строительства, безопасность, снижение возможности проектных отклонений, благодаря точности 3D принтера, широкое применение криволинейных структур, позволяющее не только снизить напряжения, но и повысить уровень стилистического качества, все это рождает спрос на аддитивные технологии [3–5].

В данной работе приведены результаты экспериментов, позволяющие продолжить разработки в области оптимизации составов строительных смесей в экспериментальном строительстве с применением 3D печати, т. к. в Российской Федерации зарождается направление в области исследования строительных материалов для аддитивных технологий.

## Методы

Сотрудниками Тамбовского государственного технического университета была разработана классификация стен, напечатанных на 3D принтере в зависимости от их назначения, несущей способности, однородности, используемому материалу и т. д. (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Классификационные признаки стен, напечатанных на 3D принтере (схема составлена на основании данных авторов [6])

Как известно, стены могут быть внутренние и наружные. Благодаря внутренним стенам можно разграничивать помещения между собой, с помощью них архитекторы выстраивают различные объемно-планировочные решения. А наружные стены необходимы для защиты от климатических воздействий и придания зданию эстетичного внешнего вида [6].

Что касается оборудования для аддитивных технологий, то можно отметить, что оно совершило прорыв как в прототипировании, так и в серийном производстве. На сегодняшний день трехмерная печать применяется в изготовлении бытовой техники, космической промышленности, медицине, машиностроении, авиастроении, также и строительная отрасль не является исключением (рисунок 2) [7; 8].



*Рисунок 2. Здания необычной конфигурации (рисунок взят из открытого источника в интернете <https://мосoblжилсервис.рф/dom/3d-pechat-domov-17-realnyx-zdaniy-na-pechatannyx-na-3d-printere-budushhee-na-vc-ru.html>)*

Теперь 3D-принтер, как средство строительной механизации, не является такой уж редкостью, он используется уже не только для изготовления макетов зданий и сооружений, но и наряду с полноценными видами спецоборудования (экскаватор, бульдозер, башенный кран) прочно закрепляется на строительной площадке.

Для строительных 3D-принтеров в качестве «чернил» используются бетонные растворы, которые должны обладать рядом реологических свойств для обеспечения возможности послойно наращивать элементы конструкций зданий [9; 10]. При этом в настоящее время применяют обобщенные показатели, такие как: удобоукладываемость бетонной или растворной смеси, условная вязкость, консистенция вяжущего теста, вместо общепринятых — предельное напряжение сдвига, вязкость и т. д. Кроме того, необходимо вести контроль сроков схватывания бетонных растворов, применяемых в 3D печати [11].

В результате проведенного аналитического обзора литературных источников современных научных исследований в области аддитивных технологий в строительстве, а также учитывая особенности Липецкого региона, были выявлены основные составы смесей на основе цемента для проведения испытаний [11]. Сырьевые материалы: (1) портландцемент ЦЕМ I 42,5Н; (2) доменный шлак; (3) песок: мелкозернистый, фракция 0,315 мм + остаток на сите

0,16 мм Сенцовского месторождения; (4) зола-уноса: отход угольной промышленности; (5) микрокремнезем [12; 13]; (6) метакраолин (ВМК): высокоактивный (ВМК-45), белый; (7) известь гашеная; (8) полипропиленовая фибра: длина волокон 10–12 мм, толщина 12 мкм [14]; (9) суперпластификатор Cemmix Cem Plast.

Одним из самых эффективных материалов в части экономии цемента является тонкомолотый доменный гранулированный шлак. Шлак доменный — побочный продукт, образующийся при производстве чугуна. Данный материал достаточно хорошо изучен как активная минеральная добавка в цементы, кроме того, шлак является основным компонентом при получении шлакощелочных вяжущих и изделий на их основе. При его использовании параллельно решается экологическая проблема.

Шлак, отвечающий требованиям ТУ 21-20-61-85 «Шлак молотый», поставляется из доменного цеха ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Доставка осуществляется железнодорожным транспортом в специализированных вагонах.

Химический состав доменных шлаков зависит от вида и свойств железных руд, качества кокса, флюсов и вида выплавляемого чугуна. По содержанию окислов доменные шлаки близки к цементу, при этом их минералогический состав существенно отличается от минералогического состава портландцементного клинкера.

Гидравлической активностью обладают гранулированные шлаки (шлаки быстрого охлаждения).

Шлаки медленного охлаждения (шлаковые пески) обладают заметно меньшей гидравлической активностью, вследствие отличной от гранулированных шлаков кристаллической структуры. Поэтому данные материалы не представляют интереса в качестве активной минеральной добавки к цементам.

Исследование проводилось на готовой бетонной смеси и на образцах-кубах размерами 100×100×100 мм и балочках размерами 40×40×160 мм. Учитывая представленные данные, была разработана и реализована 41 программа эксперимента. На первом этапе исследований изготавливали образцы бетона, на втором этапе определяли физико-механические свойства.



*Рисунок 3. Компоненты для изготовления бетонной смеси (фото выполнено авторами)*

Планируемые свойства материала регулируют изменением рецептуры и технологических факторов, большое значение имеет уровень изученности бетонных смесей и методах их получения, а также от оснащенности предприятия. Обычно используют методы математического планирования эксперимента, благодаря чему выводят уравнения регрессии для определяемых показателей. При таком подходе решаются прикладные задачи и появляется возможность выявить закономерности образования новых материалов, пригодных для использования в 3D печати.

Планирование эксперимента позволяет определить не только реологические свойства бетонных смесей, но и прогнозировать долговечность материала в процессе эксплуатации, учитывая все воздействующие факторы.

Методика изготовления образцов заключалась в следующем. Сначала перемешивали все сухие тонкодисперсные материалы, далее добавляли полипропиленовую фибру, в полученную сухую смесь вливали воду с разбавленными в ней жидкими компонентами (пластификаторами). Смесь тщательно перемешивалась, далее проводились испытания по определению реологических свойств, а также смесь укладывалась в форму для получения образцов бетона. Готовое изделие распалубливали и через 28 суток производили испытание на прочность. Отклонения от перпендикулярности смежных граней образцов-кубов, предназначенных для испытания на сжатие, не должны превышать  $\pm 1$  мм.

Сроки схватывания определялись с помощью прибора Вика с иглой по ГОСТ 310.3-76\* «Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также нулевое отклонение прибора. Кроме того, проверяют чистоту, поверхности и отсутствие искривления иглы. Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста нормальной плотности, приготовленного и уложенного в кольцо. В этом положении закрепляют стержень стопором, затем освобождают стержень, давая игле свободно погружаться в тесто. В начале испытания, пока тесто находится в пластичном состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку допускается слегка ее задерживать при погружении в тесто. Как только тесто загустеет настолько, что опасность повреждения, иглы будет исключена, игле дают свободно опускаться. Момент начала схватывания определяют при свободном опускании иглы.

Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попадала в прежнее место. После каждого погружения иглу вытирают.

Во время испытания прибор должен находиться в затененном месте, где нет сквозняков, и не должен подвергаться сотрясениям.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения (момента прилипания воды) до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 2–4 мм. Концом схватывания цементного теста считают время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1–2 мм.

Подвижность бетонной смеси характеризуется измеряемой в сантиметрах глубиной погружения в нее эталонного конуса.

Перед началом проведения испытаний конус и все соприкасающиеся со смесью поверхности очищались от загрязнений и протирались влажной тканью. Далее проверяли свободу скольжения штанги прибора 4 в направляющих 6. Далее бетонной смесью заполняли сосуд на 10 мм ниже краев и производили 25 штыкований и 5–6 раз постукивали о стол. Затем

сосуд устанавливали на площадку прибора. После чего опускали острие конуса до соприкосновения с бетонной смесью и делали первый отсчет по шкале, отпускали стопорный винт.

Конус начинал свободно погружаться в смесь и через 1 минуту делали второй отсчет. Глубина погружения — разница между первым и вторым отсчетами (погрешность 1 мм).

При испытании образцов на прочность при сжатии применяли гидравлический пресс. Перед установкой образца в испытательную машину (рисунок 4) удалялись частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах пресса. Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирали из расчета того, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20 % до 80 % максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой. Нагружение образцов проводили непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения должно быть не менее 30 с. За разрушающую нагрузку принимали максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания.



*Рисунок 4. Гидравлический пресс (фото выполнено авторами)*

При испытании образцы устанавливались одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту пресса центрально относительно его продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту испытательной машины.

После установки образца на опорные плиты пресса или дополнительные стальные плиты совмещают верхнюю плиту испытательной машины с верхней опорной гранью образца так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Образец нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки  $(0,6 \pm 0,2)$  МПа/с.

Также образцы подвергались испытанию на прочность на изгиб. В начале испытаний образец-балочку устанавливали в испытательную машину (рисунок 5) и нагружали до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки  $(0,05 \pm 0,01)$  МПа/с.



*Рисунок 5. Прибор МИИ-100 (фото выполнено авторами)*

Когда образец-призма разрушался не в средней трети пролета или плоскость разрушения образца наклонена к вертикальной плоскости более чем на  $15^\circ$ , то при определении средней прочности бетона серии образцов этот результат испытания не учитывался.

### Результаты

Для каждого из составов определялись:

- сроки схватывания по прибору Вика с иглой (ГОСТ 30744-2001);
- подвижность по погружению конуса (ГОСТ 5802-86);
- прочность образцов на сжатие в возрасте 28 суток (ГОСТ 30744-2001);
- прочность образцов на изгиб в возрасте 28 суток (ГОСТ 30744-2001).

**Таблица 1**

### Результаты испытаний

№ сост.	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Сроки схватывания		Подвижность по погружению конуса, мм	Прочность 28 суток, МПа	
		начало, ч	конец, ч		сжатие	растяжение
1	2000	4 часа	6 часов	7,95	41,2	5,0
2	2150	4 часа 30 мин	6 часов	3,00	48,9	7,9
3	1950	4 часа	6 часов 30 мин	3,30	42,0	5,8
4	1980	3 часа	4 часа	3,10	35,1	6,3
5	2050	4 часа	5 часов	6,50	53,4	8,0
6	1970	3 часа	3 часа 40 мин	5,40	28,7	4,8
7	1965	2 часа 30 мин	3 часа 50 мин	3,90	38,5	4,7
8	1850,6	2 часа 20 мин	3 часа 20 мин	3,05	28,7	4,5
9	2005,8	2 часа 50 мин	3 часа 40 мин	6,07	51,7	7,5
10	1940,3	3 часа 20 мин	4 часа	3,40	30,4	4,7

*Составлено авторами*

### Выводы

Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы. Подвижность и сроки схватывания состава 1 не позволяет использовать его в 3D печати, т. к. слишком долгое твердение не позволит послойно возводить конструкцию. Составы 2 и 3 обладают высокими



показателями прочности при 28-дневном сроке твердения, однако, слишком густой, поэтому непригоден для экструзии. Также невозможно применять в аддитивных технологиях составы 4 и 8, т. к. несмотря на ранние сроки твердения, они обладают малыми показателями подвижности и низкой прочностью. Самыми быстрыми сроками схватывания обладают составы 6 и 7, но при 28 дневном сроке твердения они не набрали требуемую прочность (состав 7 показал раннее начало схватывания благодаря присутствию микрокремнезема, свойства которого способствуют увеличению скорости реакции гидратации, при этом данное свойство не способствует увеличению конечной прочности бетона). Повышенная густота состава 10 (из-за отсутствия в составе извести) не позволяет применять его для экструдирования. Составы 5 и 9 обладают всеми необходимыми свойствами для 3D печати: высокие прочностные показатели при сжатии и растяжении по истечении 28 суток, подвижность и относительная густота оказались в пределах нормы, сроки схватывания также позволяют применять ее для послойного нанесения.

В результате анализа полученных данных был выявлен оптимальный состав бетонной смеси. Состав 9 будет применяться в дальнейших исследованиях, т. к. при практически одинаковых показателях, в отличие от состава 5, расход самого дорогостоящего компонента — цемента значительно ниже благодаря наличию в его составе доменного шлака и микрокремнезема. Кроме того, решается проблема утилизации отходов металлургической промышленности, что положительно скажется на экологической обстановке региона. Данный экспериментальный состав бетонной смеси пригоден для применения в строительной 3D печати.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Османов С.Г., Манойленко А.Ю., Литовка В.В. Выбор вариантов механизации бетонных работ в монолитно-каркасном строительстве // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5507/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5507/).
2. Rael R., Fratello V.S. *Printing Architecture: Innovative Recipes for 3D Printing*. New York: Princeton Architectural Press. — 2017. — 176 p.
3. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Данилейко И.Ю. Исследование принципов формообразования объектов параметрической архитектуры // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5513/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5513/).
4. Naboni R., Paoletti I. *Advanced Customization in Architectural Design and Construction*. Berlin: Springer Verlag. 2015. — 170 p.
5. Османов С.Г., Колотиенко М.А. К вопросу о возможностях и области рационального применения технологии 3d-печати строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 9 (60). — С. 64.
6. Монастырев П.В., Езерский В.А., Иванов И.А., Азауи Дубла Б. Аддитивные технологии возведения стен малоэтажных зданий и их классификация: Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году Российская академия архитектуры и строительных наук. Москва. — 2019. — С. 368–379.
7. Применение 3D печати в строительстве [Электронный ресурс]. URL: <https://make-3d.ru/articles/primenenie-3d-pechati-v-stroitelstve/> (дата обращения: 01.10.2019).

8. Торшин А.О., Потапова Е.Н. Перспективы использования 3D-принтера в строительстве // Успехи в химии и химической технологии. — Т. XXX. — 2016. № 7. — С. 118–120.
9. 3D-печать в строительстве / Ватин Н.И., Чумадова Л.И., Гончаров И.С. [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2017. — № 1 (52). — С. 27–46.
10. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete / S.A. Austin, S. Lim, R.A. Buswell, A.G.F. Gibb, T. Thorpe // Materials and Structures. 2012. № 8–45. — С. 1221–1232.
11. Панфилова А.Д., Шиняева М.В., Когай В.В., Шаранова А.В. Материалы для аддитивных технологий в строительстве // Межвуз. науч.-техн. конф. студентов и курсантов «Дни науки» ФГБОУ ВО «КГТУ». — Калининград: КГТУ. — 2019. — С. 372–375.
12. Корнеев А.Д., Проскуракова А.О. Композиционный материал на основе пенополиуретана с использованием микрокремнезема // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2011. — № 24 (43). — С. 72–76.
13. Кобзев Д.О., Корнеева А.О. Строительные смеси на основе композиционного связующего из тонкодисперсных отходов местной промышленности // Современные проблемы строительной науки: Сб. Международной науч.-практ. конф. — 2017. — С. 98–100.
14. Knippers. E. 3D Printing for Architects. Retrieved March 27, 2015, from <http://www.lpfrg.com/applications/3d-printing-for-architects/>.

**Bondarev Boris Alexandrovich**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [lnsp-48@mail.ru](mailto:lnsp-48@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9270>

**Bayazov Veniamin Alekseevich**

Russian Academy of National Economy and Public Administration at the President of the Russian Federation,  
Moscow, Russia  
E-mail: [aelita1972@mail.ru](mailto:aelita1972@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9799-0543>

**Korneev Oleg Olegovich**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [pao2010@rambler.ru](mailto:pao2010@rambler.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8036-8846>

**Vostrikov Ilya Alexeevich**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [stalKAI007@gmail.com](mailto:stalKAI007@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3430-9773>

**Meshcheryakov Aleksey Andreevich**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [alekseymeshcheryakov48@gmail.com](mailto:alekseymeshcheryakov48@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0407-6152>

**Korneeva Anastasia Olegovna**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia  
E-mail: [2010anasta@mail.ru](mailto:2010anasta@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2434-9536>

## Selection of mixtures for 3D printing

**Abstract.** Currently, the construction industry needs to reduce material and technical, energy, labor, and as a result, financial costs, reduce the risk of injury in the production process and improve the quality of finished products through mechanization and automation, increases interest in the possibilities of additive technologies in the construction of structures of buildings and structures. Every year, the volume of work on the construction of objects using 3D technologies is growing quite intensively and this is becoming more and more relevant.

The high rate of construction, the lack of decking, the reduction of the possibility of design deviations, thanks to the accuracy of the 3D printer, the widespread use of curved structures, which allows not only to reduce stress, but also to increase the level of stylistic quality, all this creates a demand for additive technologies.

This article presents the results of experiments that allow us to continue the development in the field of optimizing the composition of building mixes in experimental construction with the use of 3D printing, since in the Russian Federation, a direction in the field of research of building materials for additive technologies is emerging. This article presents the results of optimizing the composition of building mixes used for additive technologies for the Lipetsk region, since it includes blast furnace slag, which is a by-product of PJSC Novolipetsk Metallurgical Combine. As a result of tests of the concrete mixture, it was found that the density is 1940.3 kg/m<sup>3</sup>, the setting time: the beginning — 3 hours 20 minutes, the end — 4 hours, the mobility of the cone immersion, 3.40 mm, the strength (28 days): compressed — 30.4 MPa, bending — 4.7 MPa. The data indicate that the resulting mixture

has the necessary rheological properties and optimal setting times and can be used for the construction of buildings and structures using 3D printing.

Thus, the results of this work will allow us to continue the development in the field of optimizing the composition of building mixes in experimental construction using 3D printing, since in the Russian Federation, a direction in the field of research of building materials for additive technologies is emerging.

**Keywords:** 3D printing; concrete mix; setting time; rheological properties; flowability of concrete; 3D printer; additive technologies; microsilica; blast furnace slag