
**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS (TECHNICAL)**

УДК 691.12

DOI 10.48612/ntp/r6k8-pzz1-7gfv

**РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ОРГАНИЧЕСКИХ
ЗАПОЛНИТЕЛЯХ И СМЕСЕЙ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ**

М. В. АКУЛОВА¹, Н. С. ГОЛУБЕВ¹, А. В. ПОПОВ²

¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

²Ивановский государственный политехнический университет
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: m_akulova@mail.ru, nikita230998@mail.ru

В данной работе представлены составы легкого бетона на органическом заполнителе растительного происхождения для производства строительных материалов и 3D-печати зданий, сооружений, малых и габаритных архитектурных форм. Исследовано влияние армирующих свойств мискантуса сорта «Камис» на прочностные свойства легкого бетона. Для изготовления конструкционных изделий или стенового состава для послойной 3D-печати строительных материалов потребуется 3–15 % измельченных стеблей растения от массы сухой смеси. Представлено влияние количества органического заполнителя на конечную прочность изготовленных изделий. Рассмотрены свойства приведенных компонентов, характеристики строительных материалов и рекомендации по пожарной безопасности.

Ключевые слова: легкие бетоны, органический заполнитель, 3D-печать, строительный материал, пожарная безопасность.

**DEVELOPMENT OF LIGHT CONCRETE COMPOSITIONS BASED ON ORGANIC
FILLERS AND MIXTURES FOR 3D PRINTING OF ARCHITECTURAL FORMS**

M. V. AKULOVA¹, N. S. GOLUBEV¹, A. V. POPOV²

¹Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo,

²Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: m_akulova@mail.ru, nikita230998@mail.ru

This work presents the compositions of light concrete on organic filler of plant origin for the production of building materials and 3D printing of buildings, structures, small and large architectural forms. The influence of the reinforcing properties of Miscanthus variety «Kamis» on the strength properties of light concrete is investigated. To make structural products or wall composition for layer-by-layer 3D printing of construction, 3–15 % of crushed plant stems from the mass of the dry mixture will be required. The influence of the amount of organic filler on the final strength of the manufactured products is presented. The properties of the components, characteristics of building materials, and fire safety recommendations are considered.

Key words: lightweight concretes, organic filler, 3D printing, building materials, fire safety.

Ежегодно от пожаров в России страдает более 10000 гражданских и промышленных объектов. Из-за открытого огня может

произойти разрушение строительных конструкций, серьезная деформация зданий при воздействии высоких температур или изменение их

физико-механических характеристик, угроза здоровью людей при выделении токсичных веществ в результате горения строительных материалов. В статье 134 федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» представлены требования пожарной безопасности к применению строительных материалов в зданиях и сооружениях.

Легкий бетон – это разновидность бетона, отличающегося пониженной плотностью (менее 1800 кг/м³) и низкой теплопроводностью благодаря пористой структуре. Характеристики материалов достигаются благодаря использованию заполнителей разных видов, таких как: керамзит, пенополистирольные гранулы, шлаковая пемза, древесная щепа, солома, костра льна или технической конопли, перлит, вермикулит, аглопорит, пеностекло и др., а также путем введения специальных газообразующих добавок, пенообразователей. Они выполняют важную функцию по уменьшению массы изделий и экономии ресурсов (цемента).

Инновационным органическим заполнителем растительного происхождения для легкого бетона служит мискантус – травянистый злак, относящийся к подсемейству «Просовые». Техническая культура, эксплуатация которой характерна для широкого спектра промышленных производств. Благодаря высоким показателям продольной прочности и плотности целлюлозных волокон, стебли мискантуса в Японии и других азиатских странах исторически служат материалом для несущих элементов кровли. В настоящее время ведутся разработки

по внедрению данного агроволокна в рецептуры строительных композиционных материалов нового поколения. Уникальными преимуществами растения, выступающего в качестве заполнителя для легкобетонных составов, являются: высокий процент целлюлозы, быстрые темпы роста и высокая урожайность [1].

Интерес к мискантусу в России начал активно расти в начале 2000-х, а уже к 2013 году в Новосибирском институте цитологии и генетики СО РАН на основе китайского мискантуса (*Miscanthus sinensis*) был создан новый российский сорт – «Сорановский». В конце XX века эта культура заинтересовала ведущие промышленные страны мира, и с тех пор площади её плантаций постоянно растут в Германии, США и Канаде. Стебли растения характеризуются высоким содержанием целлюлозы, которое варьируется в пределах 43–55 % от сухой массы вещества. Указанные значения сопоставимы с концентрацией целлюлозы в древесине, что свидетельствует о значительном биотехнологическом и промышленном потенциале данного растительного сырья. На территории Ивановской области зарегистрирован «Межрегиональный союз производителей мискантуса», который активно продвигает гигантский сорт данной сельскохозяйственной культуры «Камис», а также все проекты с ним. Таким образом, он становится универсальным кластерным сырьем. На рис. 1 изображен мискантус, который по эффективности накопления биомассы превосходит леса в связи с его более высокой продуктивностью по сравнению с другими видами многолетних растений.



Рис. 1. Поля из мискантуса сорта «Камис»

Целью работы является разработка и экспериментальное обоснование составов многокомпонентных смесей на основе легких бетонов с применением органического заполнителя растительного происхождения для производства несущих конструкций, а также создание рецептур строительных растворов, адаптированных для технологии послойного формирования

стен зданий гражданского и промышленного значения с использованием 3D-печати.

Легкие бетоны из растительного сельскохозяйственного сырья с каждым годом все активнее применяют в промышленном, гражданском и сельскохозяйственном строительстве. Их используют для изготовления блоков и панелей, подходящих для возведения стен, перегородок, а также тепло- и звукоизоляционных

плит. Отлично себя зарекомендовал био-бетон из мискантуса – так называется многолетнее злаковое растение, в стеблях которого содержится огромное количество целлюлозы. Сырье из него в «зеленом» бетоне используется в качестве легкого заполнителя, придающего материалам способность выдерживать нагрузки на изгиб [2, 3]. Произведенные строительные материалы по своим свойствам схожи с арболитом из древесной щепы или других видов заполнителей. Мискантус сорта «Камис» близкий родственник бамбука и сахарного тростника. Это обуславливает его высокие темпы разрастания, от стадии развития до сбора биомассы проходит 1–2 года (табл. 1).

Для усовершенствования составов лёгких бетонов и улучшения механической прочности, подвижности, пластичности, текучести, снижения водоцементного соотношения и скорости твердения полученных стеновых материалов предложено добавлять в состав смеси поликарбоксилатный суперпластификатор ЛОБАСТ Т-17 и пластификатор Cemmix CemStone отечественного производства. В качестве заполнителя и армирующего компонента

используются измельченные стебли мискантуса размером фракции по длине от 10 до 30 мм и диаметром 1,5–3 мм, которые по своим свойствам и прочности схожи с таким крепким растением, как бамбук. Солома из мискантуса способна удешевить производство бетонов при сохранении прочностных характеристик, уменьшить их вес, способствуя снижению нагрузок на фундамент и выдерживанию подвижности грунта в сейсмоопасных зонах. Введение CaCl_2 (разведенного в воде концентрата хлорида кальция) в состав смеси для нейтрализации простых сахаров растительного заполнителя положительно влияет на прочность материала и на качество сцепления органики с цементным тестом, а добавление хлористого кальция сразу в смесь, без предварительного вымачивания, ускоряет производство строительных блоков и послойное возведение стен по аддитивной технологии 3D-печати. Для достижения указанного технического результата предложено использовать в состав-смеси для лёгкого конструкционного бетона следующие компоненты (табл. 2) в соотношениях мас. %:

Таблица 1. Накопление биомассы органического заполнителя в тоннах с 1 гектара земли, засаженной указанными растениями

Год	Накопление биомассы указанных растений с 1 Га			
	Мискантус, тонн	Сосна, тонн	Береза, тонн	Осина, тонн
5	40	-	-	-
10	90	-	25	25
20	190	57	66	55
30	280	114	114	86
40	375	175	154	118
50	460	225	188	150

Таблица 2. Составы, предлагаемых стеновых материалов на основе мискантуса сорта «Камис»

Номер состава	Компоненты мас. %						Cemmix CemStone
	Цемент М500	Строительный гипс	Измельчённый стебель мискантуса	Вода (H_2O)	CaCl_2	ЛОБАСТ Т-17	
1	62,06	3,25	5,49	26,58	1,3	0,66	0,66
2	62,51	3,21	6,0	25,97	1	0,66	0,65
3	62,82	3,17	5,7	26	1	0,65	0,66
4	63,1	3,25	5,9	26,17	0,66	0,66	0,66
5	61,85	3,23	6,3	26,1	1,2	0,66	0,66
6	61,92	3,21	6,25	26,2	1,1	0,66	0,66
7	62,98	3,16	5,16	26,4	1	0,65	0,65

Испытания проводились на образцах в виде кубиков размером 100x100x100 мм. Процедура приготовления приведённых составов из табл. 2 выглядит следующим образом:

– подготовка органического заполнителя (соломы мискантуса), предварительно

измельчая стебли мискантуса в определённых диапазонах указанной фракции;

– смешивание компонентов в сухом виде – цемент марки не ниже М500, строительный гипс. Затем их перемешивают в течение

1 мин до однородной сухой массы. Окончание перемешивания определяется визуально;

– смешивание воды с пластификаторами ЛОБАСТ Т-17 и Cemmix CemStone, а также с добавкой CaCl_2 для ускорения схватывания, твердения легкого бетона и нейтрализации полисахаридов из органических заполнителей растительного происхождения. Полученный раствор тщательно перемешивают в течение 1 минуты;

– в полученную смесь кладется органический заполнитель мискантус сорта «Камис», масса перемешивается до однородной в течение 1 мин. Степень однородности получаемой смеси определяется визуально;

– в состав загружаются вода, пластификаторы и добавки, после чего производится их интенсивное перемешивание продолжительностью 5 минут. В случае визуальной фиксации неоднородности состава время перемешивания может быть скорректировано в сторону увеличения. Водоцементное соотношение (В/Ц) для приведённых составов 0,41–0,43, что является оптимальным для выбранных параметров прочности для бетона.

По заданным параметрам особого вида легкого бетона, куда бы входил органический заполнитель из измельчённых стеблей мискантуса, на кафедре «Архитектура и урбанистика» ФГБОУ ВО ИВГПУ было предложено разработать составы, которые имели бы: оптимальную

плотность, низкий показатель усадки, хорошую подвижность (пластичность) при прохождении через сопло строительного 3D-принтера, тиксотропность – могли сгущаться в состоянии покоя, оптимальные сроки схватывания, набирать начальную прочность в первые 20 минут от затворения смеси, хорошие показатели прочности и возможность выдерживать легкие нагрузки на изгиб для упрощения и удешевления систем армирования стеновых конструкций (табл. 3). Доказано экспериментально, что увеличение количества органического заполнителя более чем на 10 % от массы всех сухих компонентов значительно влияют на ухудшение сопротивлению на сжатие (диаграмма), но существенно удешевляют производство за счёт снижения количества цемента М500, сокращают вес изделий и улучшают их показатели теплопроводности. В зависимости от выбранного состава для легких бетонов на органических заполнителях растительного происхождения значительно меняются их параметры, поэтому очень важно понимать на какие технологии применения нацелена данная смесь, и какую важную задачу она решает. Данные испытаний из табл. 2 не переходят верхнюю границу органического заполнителя в 10 %, в виду ухудшения удобоукладываемости смеси и потери прочности получаемых изделий.

Таблица 3. Физико-механические свойства предлагаемых составов

Номер состава	Название свойств			
	Плотность, г/см ³	Усадка, %	Скорость схватывания, мин	Предел прочности образцов на сжатие R _c , МПа
1	1,78	2%	15	17,19
2	1,59	2%	18	15,60
3	1,44	2%	20	15,34
4	1,72	2%	16	16,56
5	1,68	2%	17	16,46
6	1,65	2%	17	17,20
7	1,41	2%	20	15,23
Арболит ГОСТ	0,4-0,85	4%	От 30	0,5-3,5

Из табл. 3 видно, что предлагаемые составы имеют меньшую усадку при производстве строительных блоков, ускоренные сроки схватывания и повышенную прочность. Плотность в первые 20 минут от начала затворения цементного теста, хорошо подходит для возведения стен по технологии 3D-печати зданий и сооружений, а также выполняют, преимущественно, несущую способность, относясь к конструкционным легким бетонам.

В качестве образцов были изготовлены кубики 40х40х40 мм, количество цемента и

органического заполнителя (измельчённых стеблей мискантуса) бралось в граммах. Из представленной диаграммы видно, что самое оптимальное добавление органического заполнителя для сохранения конструкционной прочности является 20–35 %. Данное количество позволяет добиться прочности материала при снятии в 3,5–8 Мпа, что соответствует марке арболита М50–М100. Показатели сопротивлению силам сжатия были определены на лабораторных прессах Ивановского государственного политехнического университета (рис. 2).

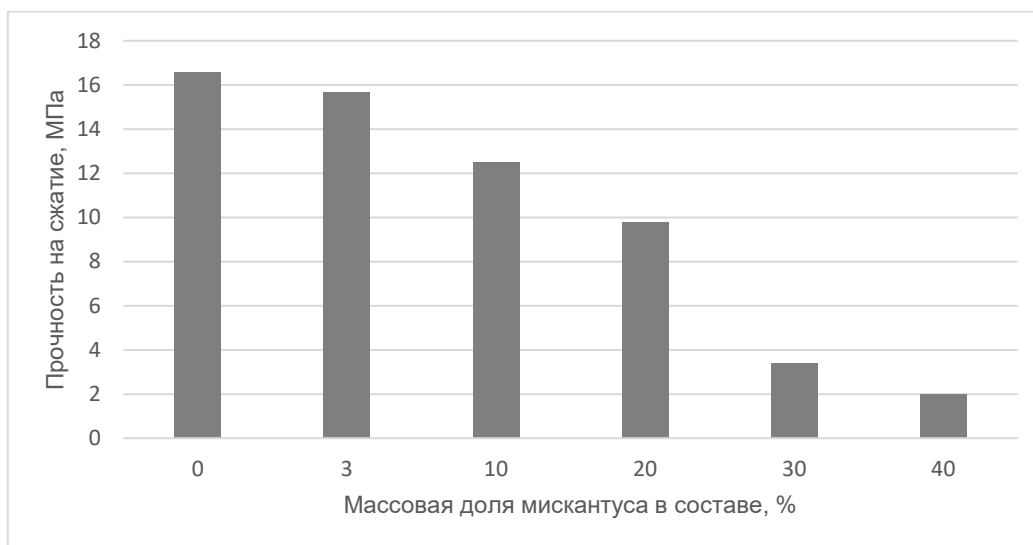


Диаграмма. Зависимость прочности строительных материалов от массовой доли органического заполнителя растительного происхождения (мискантус сорта «Камис»)



Рис. 2. Определение прочности при сжатии образцов 40х40х40 мм из приведённых составов лёгких бетонов

Как и любые составы из легкого бетона – блоки на основе органического заполнителя имеют свои преимущества:

- за счет значительного добавления растительного компонента (10–40 % измельченных, предварительно отвердевших и сухих стеблей мискантуса) вес строительного материала уменьшается, поэтому рабочие на объектах могут, без особого труда, самостоятельно передвигать блоки размером 500х300х250 мм. Конечная масса конструкции может повлиять на экономические факторы загородной застройки, а именно, при возможности климата и геологии, выбору более дешёвых типов фундамента (будет достаточно ленточного или блочного), облегчённых вариантов плит перекрытий здания [4];

- строительные материалы из изучаемых составов лёгких бетонов на органических заполнителях могут менять свою геометрию благодаря распиливанию бензопилой. Можно изготавливать доборные конструкции прямо на объекте;

- хорошая адгезия штукатурных смесей к материалам обеспечивается их пористой структурой, сформировавшейся благодаря использованию органического заполнителя;

- благодаря высокой паропроницаемости, конструкции из легких бетонов способствуют естественной регуляции влажности воздуха в помещении, создавая комфортные условия для проживания круглый год.

В соответствии с положениями ГОСТ Р 54854-2011 «Бетоны лёгкие на органических заполнителях растительного происхождения. Технические условия» по показателям огнестойкости, строительные материалы, изделия и конструкции на основе органических заполнителей (например, хорошо изученный арболит из древесной дроблёнки) характеризуются следующими параметрами:

- материалы группы Г1 (слабогорючие) не поддерживают горение в отсутствие источника пламени. Согласно испытаниям, арболит не воспламеняется в течение 45–90 минут, при этом длина повреждений огнём не превышает 65 %, а степень полного уничтожения материала составляет не более 20 %. Следовательно, арболит как разновидность легкого бетона относится к трудногорючим, и возведённое из него сооружение не разрушится от огня до прибытия пожарных подразделений;

– группа воспламеняемости В1 относится к классификации пожарной опасности строительных материалов согласно российским стандартам (ГОСТ) «Трудновоспламеняемые строительные материалы». Это означает, что такие составы легких бетонов обладают повышенной устойчивостью к возгоранию и замедляют распространение пламени. Материалы из них характеризуются низкой скоростью распространения горения и минимальным выделением дыма и токсичных веществ при пожаре.

Составы из легких бетонов на органических заполнителях относятся к классу НГ (негорючих материалов). Это означает, что они не поддерживают процессы горения и не способствуют распространению огня. При воздействии высоких температур такие бетоны выделяют минимальное количество дыма, что снижает риск отравления продуктами горения. Благодаря своим теплоизоляционным свойствам, блоки на основе заполнителя растительного происхождения способны замедлять распространение тепла, что позволяет выиграть дополнительное время для эвакуации и тушения пожара. Основные составы легких бетонов на органических заполнителях включают щепу растительного происхождения, цемент, песок, хлористый кальций и воду, что делает их экологически чистыми материалами, безопасными для здоровья человека даже при пожаре. Следовательно, стеновые конструкции, произведенные из легкобетонных составов на основе мискантуса сорта «Камис», можно отнести к категории пожаробезопасных строительных материалов [6].

Ключевыми недостатками таких видов легких бетонов являются:

– главный недостаток теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов – невысокие показатели пределов прочности материалов. Они выдерживают относительно небольшую нагрузку при сжатии и изгибе по сравнению с традиционными строительными материалами, такими как кирпич, газоблоки, тяжелый бетон. Это ограничивает использование материалов с высоким содержанием органических заполнителей в многоэтажном строительстве и требует дополнительного армирования конструкций;

– материалы из данных составов хорошо впитывают влагу, что может привести к снижению прочности и ухудшению теплоизоляционных свойств. Для защиты от влаги необходима качественная гидроизоляция, внутренняя и наружная отделка стен;

– качество изделий из таких видов легких бетонов сильно зависит от соблюдения технологии производства и соблюдения эталонного количества всех компонентов;

– сложность соблюдения идеальной геометрии строительных материалов, что при большой погрешности в размерах блока создает трудности в укладке стен, толстым швам кладочного раствора. Неправильная укладка может привести к образованию мостиков холода и снижению теплоизолирующих характеристик материала. Данный минус теряет свою актуальность при технологии строительной 3D-печати для стен зданий и сооружений, малых архитектурных форм (рис. 3);



Рис. 3. Технология строительной 3D-печати стеновых конструкций из составов легких бетонов на органическом заполнителе из мискантуса сорта «Камис»

– при небольших объемах производства изделий из данных составов строительных материалов цена может быть выше или не отличаться от ближайших аналогов и конкурентов. Такие виды лёгких бетонов нуждаются в налаженной поставке органического заполнителя, завоевании доверия у малоэтажных застройщиков, поиске универсального применения.

Используемые материалы и вещества: вода ГОСТ 23732-79 для изготовления арболита ГОСТ 19222-84 («Арболит и изделия из него. Общие технические условия»); цемент ПЦ-400-Д0 по ГОСТ 10178 или портландцемент ЦЕМ I 42,5Д0 по ГОСТ 31108; гипс ГОСТ 125-2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия»; хлористый кальций ГОСТ 450-77 «Кальций хлористый технический. Технические условия»; органический заполнитель для арболита ГОСТ 19222-2019 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия». В качестве органического заполнителя для арболита используют измельчённую древесину (древесную дроблёнку) из отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки хвойных (ель, сосна, пихта) и лиственных (берёза, осина, бук, тополь) пород, также допускается использовать другие заполнители, но только после

проведения комплексных исследований. В качестве органического заполнителя растительного происхождения в заявляемом изобретении используется мискантус сорта «Камис», выращенный в Ивановской области и измельчённый на рубительной машине ВХ 400 с размером фракции по длине от 5 до 15 мм и диаметром в 1,5–3 мм. Универсальный поликарбосилатный суперпластификатор ЛОБАСТ Т-17 ТУ 20.59.59-001-25583014-2023. Пластификатор Cemmix CemStone ТУ 20.59.59-001-90557835-2017.

В результате проведенных исследований – сделан вывод, что органический заполнитель из мискантуса сорта «Камис» хорошо подходит для определённых составов лёгкого бетона, при дальнейших испытаниях может повлиять на движения «из состояния застоя» в аддитивной технологии строительства и 3D-печати малых и крупных архитектурных форм в России. В мире идёт плавный переход к зелёной экономике, набирают популярность экологически безопасные материалы, поэтому доработанная структура арболитов и изделий из них – может стать популярной и рентабельной наравне с деревянным, каменным и монолитным строительством.

Список литературы

1. Особенности получения легких бетонов на органических заполнителях / М. В. Акулова, Н. С. Голубев, А. И. Рудой [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3 (48). С. 134–141.
2. Голубев Н. С., Рудой А. И., Акулова М. В. Преимущество блоков на органических заполнителях // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2023. № 1. С. 207–209.
3. Архитектурные возможности 3D строительства / А. И. Рудой, М. В. Акулова, Н. К. Касаткина [и др.] // Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2023. С. 196–199.
4. Соколова Ю. А., Акулова М. В., Голубев Н. С. Исследование новых композиционных материалов на основе модифицированных волокон целлюлозы для 3D-печати малых архитектурных форм // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. № 12 (792). С. 56–64.
5. Основные способы размножения *miscanthus* для создания технических промышленных плантаций в умеренном климатическом

поясе российской федерации (обзор) / О. М. Поцелуев, С. Ю. Капустянчик, Г. Ю. Галицын [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 2. С. 48–54.

6. Голубев Н. С., Акулова М. В. Легкий бетон на основе заполнителя из мискантуса // Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование: сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2025. С. 226–230.

7. Свойства мискантуса и применение его в строительстве / А. В. Попов, А. А. Сафонов, М. В. Акулова [и др.] // Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование: сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2025. С. 280–282.

8. Сафонов А. А., Попов А. В., Доморощина Т. И. Волокнистые материалы // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сборник статей по материалам сессии международной научно-практической конференции. М.: ООО «Интернаука», 2025. С. 191–193.

9. Виноградов В. А., Казачек Н. С. Использование мискантуса в строительстве // Инженерные и социальные системы: сборник научных трудов института архитектуры,

строительства и транспорта ИВГПУ. Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2022. С. 57–60.

10. Особенности использования волокон мискантуса в мелкозернистых бетонах для 3D-печати / А. В. Попов, Н. С. Голубев, Ю. А. Соколова [и др.] // Инновации и инвестиции. 2025. № 6. С. 680–683.

11. Патент на изобретение RU 2819760 Российская Федерация МПК С 04 В 28/04 В 33 Y 70/00. Строительная смесь для 3D-принтера / А. В. Аветисян; опубл. 23.05.2024. Бюл. № 15

12. Chen Y., Qingliang Yu, Brouwers H. J. H. Acoustic performance and microstructural analysis of bio-based lightweight concrete containing miscanthus. *Construction and Building Materials*, 2017, vol. 157, pp. 839–851.

13. Šekler I., Sunčica Vještica, Slobodan S. Miscanthus x giganteus as a building material – lightweight concrete. *Hemijaska industrija*, 2021, vol. 75 (3), pp. 147154.

14. Waldmann D. Masonry Blocks from Lightweight Concrete on the Basis of Miscanthus as Aggregates. *Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World*, 2016, pp. 273–295.

References

1. Osobennosti polucheniya legkikh betonov na organicheskikh zapolnityakh [Features of obtaining lightweight concretes on organic aggregates] / M. V. Akulova, N. S. Golubev, A. I. Rudoy [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 134–141.

2. Golubev N. S., Rudoy A. I., Akulova M. V. Preimushchestvo blokov na organicheskikh zapolnityakh [The Advantage of Organic Filler Blocks]. *Molodyye uchenyye – razvitiyu Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy (POISK)*, 2023, vol. 1, pp. 207–209.

3. Arkhitekturnyye vozmozhnosti 3D stroitelstva [Architectural Opportunities of 3D Construction] / A. I. Rudoy, M. V. Akulova, N. K. Kasatkina [et al.]. *Kachestvo zhizni: arkhitektura, stroitel'stvo, transport, obrazovaniye: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ivanovo: Ivanovskiy gosudarstvennyy politekhnicheskoy universitet*, 2023, pp. 196–199.

4. Sokolova Yu. A., Akulova M. V., Golubev N. S. Issledovaniye novykh kompozitsionnykh materialov na osnove modifitsirovannykh volokon tsellyulozy dlya 3D-pechati malykh arkhitekturnykh form [Research on new composite materials based on modified cellulose fibers for 3D printing of small architectural forms]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Stroitel'stvo*, 2024, vol. 12 (792), pp. 56–64.

5. Osnovnyye sposoby razmnozheniya miscanthus dlya sozdaniya tekhnicheskikh promyshlennykh plantatsiy v umerennom klimaticheskom poyase rossiyskoy federatsii (obzor) [The main methods of miscanthus propagation for creating technical industrial plantations in the temperate climate zone of the Russian Federation (review)] / O. M. Potseluev, S. Yu. Kapustyanichik, G. Yu. Galitsyn [et al.]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, vol. 36. (2), pp. 48–54.

6. Golubev N. S., Akulova M. V. Legkiy beton na osnove zapolnitelya iz miskantusa [Lightweight concrete based on miscanthus aggregate]. *Kachestvo zhizni: arkhitektura, stroitel'stvo, transport, obrazovaniye: sbornik materialov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ivanovo: Ivanovskiy gosudarstvennyy politekhnicheskoy universitet*, 2025, pp. 226–230.

7. Svoystva miskantusa i primeneniye ego v stroitel'stve [Properties of miscanthus and its application in construction] / A. V. Popov, A. A. Safonov, M. V. Akulova [et al.]. *Kachestvo zhizni: arkhitektura, stroitel'stvo, transport, obrazovaniye: sbornik materialov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ivanovo: Ivanovskiy gosudarstvennyy politekhnicheskoy universitet*, 2025, pp. 280–282.

8. Safonov A. A., Popov A. V., Domoroshchina T. I. Voloknistyye materialy [Fibrous materials. In the collection]. *Molodoy issledovatel': vyzovy i perspektivy: sbornik statey po materialam sessii mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moscow: OOO «Internauka», 2025. Pp. 191–193.*

9. Vinogradov V. A., Kazachek N. S. Ispolzovaniye miskantusa v stroitel'stve [The use of miscanthus in construction. In the collection] *Inzhenernyye i sotsial'nyye sistemy: sbornik nauchnykh trudov instituta arkhitektury, stroitel'stva i transporta IVGPU. Ivanovo: Ivanovskiy gosudarstvennyy politekhnicheskoy universitet*, 2022, pp. 57–60.

10. Osobennosti ispolzovaniya volokon miskantusa v melkozernistykh betonakh dlya 3D-pechati [Features of the use of miscanthus fibers in fine-grained concretes for 3D printing] / A. V. Popov, N. S. Golubev, Yu. A. Sokolova [et al.]. *Innovatsii i investitsii*, 2025, issue 6, pp. 680–683.

11. Avetisyan A. V. Stroitel'naya smes dlya 3D-printera [Construction mix for a 3D printer], Patent for invention RU 2819760 Rossiyskaya Federatsiya IPC C 04 B 28/04 B 33 Y 70/00, opubl. 23.05.2024, Byul. № 15.

12. Chen Y., Qingliang Yu, Brouwers H. J. H. Acoustic performance and microstructural analysis of bio-based lightweight concrete containing miscanthus. *Construction and Building Materials*, 2017, vol. 157, pp. 839–851.

13. Šekler I., Sunčica Vještica, Slobodan S. Miscanthus x giganteus as a building material –

lightweight concrete. Hemijska industrija, 2021, vol. 75 (3), pp. 147–154.

14. Waldmann D. Masonry Blocks from Lightweight Concrete on the Basis of Miscanthus

as Aggregates. Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World, 2016, pp. 273–295.

Акулова Марина Владимировна

Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

заведующая кафедрой архитектуры и урбанистики, Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор, Советник РААСН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор, Советник РААСН

E-mail: m_akulova@mail.ru

Akulova Marina Vladimirovna

Ivanovo State Polytechnic University,

Russian Federation, Ivanovo

Head of the Department of Architecture and Urban Studies, Honored Worker of Higher Education in the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Advisor to the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy

of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Honored Worker of Higher Education in the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor,

Advisor to the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

E-mail: m_akulova@mail.ru

Голубев Никита Сергеевич

Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

аспирант

E-mail: nikita230998@mail.ru

Golubev Nikita Sergeevich,

Ivanovo State Polytechnic University,

Russian Federation, Ivanovo

postgraduate student

E-mail: nikita230998@mail.ru

Попов Александр Васильевич

Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

Аспирант

E-mail: alexandr.9407@gmail.com

Popov Alexander Vasilyevich

Ivanovo State Polytechnic University,

Russian Federation, Ivanovo

postgraduate student

E-mail: alexandr.9407@gmail.com