

структуры клейковины. Эксперимент дает представление о пригодности мультизерновой муки для производства хлеба и о разнообразии потребительского выбора.

#### Список цитируемых источников

1. Биологические основы эффективного применения фунгицидов в защите листового аппарата и колоса зерновых культур от болезней : рекомендации / С. Ф. Буга [и др.] ; Ин-т защиты раст. — Минск, 2013. — 60 с.

2. *Monro, J. A. Glycaemic glucose equivalent: combining carbohydrate content, quantity and glycaemic index of foods for precision in glycaemia management / J. A. Monro // Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition. — 2015. — 11(3). — P. 217—225.*

3. The effects of vital wheat gluten and transglutaminase on the thermomechanical and dynamic rheological properties of buckwheat dough / L. Han [et al.] // Food and Bioprocess Technology. — 2013. — 6 (2). — P. 561—569.

УДК 69.002.5

**А. В. Шах, Е. Г. Шапович**

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,  
Барановичи, Республика Беларусь, shah.al.vas@gmail.com*

## СТРОИТЕЛЬНАЯ 3D-ПЕЧАТЬ: БЕРЕМ НА ВООРУЖЕНИЕ ОПЫТ КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

В настоящее время строительная отрасль производит огромное количество отходов, и прогресс в области устойчивого развития идет медленно. Из-за сложности цепочек поставок в строительной отрасли меры по охране окружающей среды оказали ограниченное влияние. В строительных проектах могут участвовать тысячи различных компаний, что крайне затрудняет обеспечение устойчивого подхода во всей цепочке поставок.

Но прорывные технологии, такие как 3D-печать, могут изменить способ проектирования и производства продуктов, коренным образом изменив структуру цепочек поставок. Мировой опыт показывает, что 3D-печать может помочь строительной отрасли стать экономичнее, эффективнее и устойчивее.

**Ключевые слова:** строительство; 3D-принтер; технологии; инновации; Китайская Народная Республика.

## **CONSTRUCTION 3D PRINTING: LEARNING FROM THE EXPERIENCE OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA**

The construction industry currently generates a vast amount of waste, and progress towards sustainability is slow. Due to the complexity of supply chains in the construction industry, green management interventions have had a limited impact. Construction projects can involve thousands of different companies, making it extremely difficult to ensure a sustainable approach is used through the whole supply chain.

But disruptive technologies such as 3D printing have the potential to change the way that products are designed and manufactured, fundamentally changing the structure of supply chains. World experience show that 3D printing can help the construction industry become leaner, more efficient, and more sustainable.

**Key words:** construction; 3D printer; technology; innovation; the People's Republic of China.

**Введение.** Мало что объединяет развитые, развивающиеся и бедные страны, везде свои проблемы и задачи, но нехватка доступного жилья является общемировой повесткой. Если в бедных странах остро стоит вопрос с ростом количества бездомных из-за нехватки жилья, как такового, то в развивающихся странах необходимо резко ускорить количество возводимого нового жилья для удовлетворения потребностей растущего населения. В развитых же странах проблема, прежде всего, в стоимости жилья, которое подорожало до такой степени, что стало практически недоступным для молодежи. А с одновременным увеличением в этих странах продолжительности жизни эта проблема только усугубляется.

Согласно статистическим данным, представленным на рисунке 1, общая площадь вводимых в эксплуатацию жилых домов с каждым годом только возрастает [1]. В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 20 января 2023 года № 49 «О мерах по выполнению заданий по строительству жилых домов и объектов инженерной и транспортной инфраструктуры к ним на 2023 год» облисполкомам и Минскому горисполкому совместно с Министерством архитектуры и строительства поручено в том числе обеспечить

выполнение заданий на 2023 год по вводу в эксплуатацию общей площади жилых домов в установленных объемах (всего 4,3 млн кв. м в год), создать задел под программу жилищного строительства на 2024 год, принять меры по сдерживанию роста стоимости строительства жилья [2].

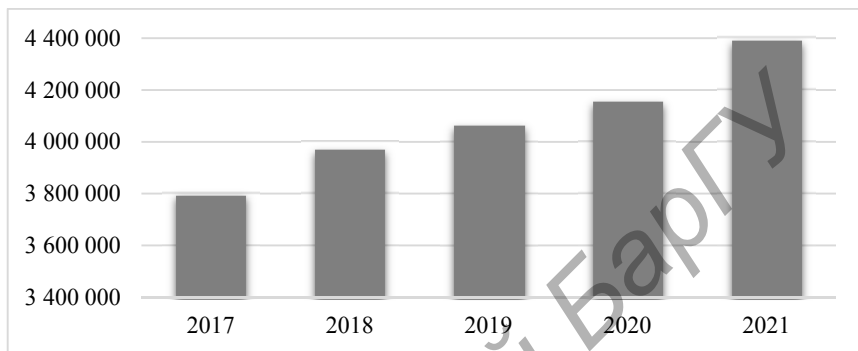


Рисунок 1 — Общая площадь жилых домов, введенных в эксплуатацию в Республике Беларусь в 2017—2021 годах

Таким образом проблема увеличения объемов строительства является актуальной и для Республики Беларусь. Внедрение новых методов и подходов путем применения 3D-принтеров может стать весомым подспорьем традиционным методам строительства, так как эта технология не требует привлечения большого количества людей для выполнения тяжелого труда и достаточно нескольких операторов и мастеров, которые будут обслуживать строительный 3D-принтер. Первые удачные эксперименты по изготовлению строительных деталей и возведению домов были проведены в Китае и ОАЭ.

Параллельно развивается тренд на «зеленую повестку», снижение выбросов  $CO_2$ , строительство из более экологичных материалов и т. д. Но, к сожалению, пока что строительная отрасль является абсолютным лидером по выбросам  $CO_2$ , а также по количеству мусора, который оставляет после себя каждая стройка. Нельзя сказать, что строительная 3D-печать решит все эти проблемы, но, как минимум, она идет в правильном направлении [3].

По данным отчета Research And Markets, мировой рынок строительной 3D-печати в 2022 году оценивается в 354,3 млн. долларов

США, и, по прогнозам, достигнет 11068,1 млн. долларов США к 2027 году, увеличившись на 99,04 %.

**Основная часть.** Идея 3D-печати родилась еще в 1983 году, когда Чарльз У. Халл использовал для упрочнения покрытия столешниц ультрафиолетовый свет. Этот подход привел к изобретению стереолитографии — первой технологии 3D-печати.

В 1986 году К. Декарт изобрел метод селективного лазерного спекания. Лазерный луч спекает порошок (пластик, металл и т. д.), масса порошка при этом подогрывается в рабочей камере до температуры, близкой с температурой плавления. Основой служит заранее смоделированный на компьютере цифровой макет. После прохождения лазером горизонтального слоя, камера опускается на высоту слоя (как правило 0,1—0,2 мм), масса порошка выравнивается специальным устройством и наносится новый слой.

Самым распространенным на сегодняшний день методом 3D-печати является послойное направление (FDM). Из сопла печатающей головки при помощи шагового двигателя подается материал, печатающая головка перемещается на линейных направляющих по одной или двум осям, так же по одной или двум осям двигается платформа. Основой движения так же служит компьютерная модель. Материал укладывается на платформу по установленному контуру, после чего головка или платформа перемещаются и поверх старого накладывается новый слой [4].

Помимо «классической» области применения 3D-печати, сегодня все чаще можно видеть новости о том, как на 3D-принтере напечатали дом или даже целый парковый комплекс. И это действительно так, несколько компаний по всему миру тестируют или уже частично применяют 3D-печати в строительстве зданий и сооружений. В основном это касается контурной заливки стен (похоже на метод FDM) специальной композитной бетонной смесью.

Процесс не нуждается в длительной и трудоемкой подготовке. Сначала подготавливается строительная площадка. Затем с помощью специальной программы сервопривод экструдера выдавливает строительную смесь со специальными добавками. 3D-печать производится горизонтальными слоями — каждый следующий поверх предыдущего. Наносимый слой уплотняет нижний, увеличивая его способность выдерживать вес конструкции. В местах оконных и дверных проемов экструдер делает пропуски для их формирования.

Дополнительно конструкция возводимого дома упрочняется с помощью армирования.

Схема работы строительного принтера представлена на рисунке 2.

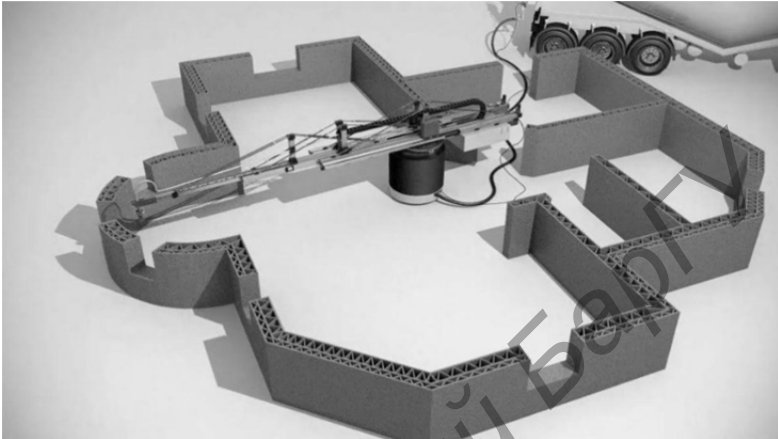


Рисунок 2 — Модель работы вращающегося строительного 3D-принтера

Мобильность принтера считается главным преимуществом, так как его можно перевезти по всему миру, благодаря чему, возможно значительно уменьшить затраты на транспортировку материала и его хранение на стройплощадке.

Экологические факторы так же являются важным критерием при использовании 3D-принтеров в строительстве. В отличие от традиционного бетона, бетон, напечатанный на 3D-принтере, не требует никакой опалубки, которая обычно изготавливается из дерева и выбрасывается после использования. Кроме того, 3D-печать позволяет печатать бетон только там, где это необходимо, используя только необходимое количество материала. Помимо того, что это экологически чистый метод строительства, аддитивное производство также быстрее и доступнее, чем традиционные методы. По сравнению с железобетоном, бетон, напечатанный на 3D-принтере, намного дешевле, особенно из-за этапа моделирования, который позволяет заранее решить технические проблемы и найти оптимальный метод строительства.

В марте 2014 года китайской компанией Yingchuang New Materials с помощью одновременного применения четырех 3D-принтеров

удалось за одни сутки напечатать десять однокомнатных домов, площадью 200 квадратных метров каждый. Стены печатали на заводе и готовыми перевозили на стройплощадку для сборки дома. Остальные элементы (перекладины, крыша, окна, двери и т. д.) тоже устанавливали вручную.

В январе 2015 года китайская компания Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co, подняла 3D-печать на совершенно новый уровень. Шанхайские инженеры напечатали 5-этажный жилой дом и первую в мире виллу. Площадь виллы составляла 1100 квадратных метров и сдавалась с внутренней и внешней отделкой [5].

В настоящее время компания Yingchuang Building Technique (Winsun) является мировым лидером в области архитектуры 3D-печати и специализируется на строительстве и отделке крупных общественных зданий, таких как большие театры, стадионы, конференц-залы, коммерческие комплексы, гостиницы, индустриальные парки. Они реализовывали свои проекты в более чем 400 национальных знаковых зданиях, таких как Национальный большой театр, Национальный центр водных видов спорта (Водный куб), Шанхайский выставочный центр, Международный конференц-центр Гуанчжоу Байюнь, здание Phoenix media Beijing, отель Lianxi и многие другие.

В России также существуют примеры 3D-напечатанных зданий: Дом, напечатанный в 2017 году в Ступино площадью 37 м<sup>2</sup>, при помощи строительного 3D-принтера иркутской компании Aris Cor, имеет нестандартную форму, представленную на рисунке 3.

Выбор такой интересной формы, разработчики объяснили желанием показать гибкость возможностей 3D-печати при строительстве зданий. Коробка этого дома была напечатана всего за 20 часов. Время застывания бетона 28 дней. Таков срок выполнения основных работ по возведению каркаса здания. Остальные работы (монтаж кровли и окон, внутренняя и внешняя отделка) заняли еще около трех недель. Строительство «под ключ» (включая фундамент, стены, перекрытия, кровлю, электропроводку, двери и окна, наружную и внутреннюю отделку) обошлось в сумму 593,6 тыс. руб.

Так же в 2017 году в Ярославле был напечатан дом с помощью порталного принтера. Каркас напечатанного здания обошелся в 436 тысяч рублей. Для сравнения такая же коробка дома при традиционном строительстве обошлась бы в 750 тысяч рублей. К тому же сроки ее возведения были бы существенно длиннее [6].



Рисунок 3 — Модель первого в России напечатанного жилого коттеджа

К сожалению, в Беларуси пока нет ни одного прецедента применения 3D-принтера в крупном строительстве так как не созданы условия, необходимые для реализации технологии строительной 3D-печати. К примеру, явный ограничивающий фактор для проведения точных расчетов экономической целесообразности внедрения аддитивных технологий в строительстве — отсутствие ТНПА, регулирующих данный сегмент. Нет СТБ, ГОСТов на строительные материалы для аддитивного строительства, на процесс применения, требования к возводимым конструкциям и т. д.

Однако нельзя сказать, что данное направление в Республике Беларусь не развивается. В 2019 году командой “mARTech” на конкурсе социальных проектов “Social Weekend” был представлен технический проект по созданию объектов городской инфраструктуры и других крупногабаритных объектов с помощью технологии 3D-печати из ПЭТ-бутылок и других видов переработанного пластика.

По словам Михаила Буневича, одного из основателей проекта, команда решила остановиться на производстве уличных скамеек, дизайн и эскизы для которых уже разработаны. Для изготовления полноценной скамьи весом от 23 до 50 кг понадобится до 2000 пластиковых бутылок. Если говорить о временных затратах, то печать одного изделия должна занимать 6—8 часов [7].

**Заключение.** Экономический эффект от внедрения аддитивной технологии и 3D-печати специалистам пока оценить сложно. Во всем мире технологии еще на начальном этапе развития. Однако, даже по самым осторожным расчетам, себестоимость напечатанных зданий и его частей может быть ниже стоимости изготовленных на заводе или отлитых на стройплощадке. Разница составит от 1,5 до 6 раз — в зависимости от сложности возводимых конструкций. 3D-печать домов и прочих сооружений, без сомнения, будет развиваться, сокращая издержки и сроки производства, что вместе с освоением новых подходов в архитектуре и городском планировании, придаст ощутимый импульс к развитию индустрии в целом.

Опыт Китайской Народной Республики в строительной отрасли сложно переоценить, и возможное международное сотрудничество экологов, инженеров и архитекторов из Беларуси и Китая несомненно окажется продуктивным, даст положительный эффект и поможет раскрыть научный потенциал обеих стран путем внедрения инновационных разработок.

#### Список цитируемых источников

1. Общая площадь жилых домов, введенных в эксплуатацию [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=181189>. — Дата доступа: 27.02.2023.

2. О мерах по выполнению заданий по строительству жилых домов и объектов инженерной и транспортной инфраструктуры к ним на 2023 год [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 20 янв. 2023 г., № 49 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. — Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22300049&p1=1&p5=0>. — Дата доступа: 01.03.2023.

3. Строительная 3D-печать в ожидании прорыва [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/673542>. — Дата доступа: 23.02.2023.

4. История 3D-печати [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://3dmf.ru/wiki/istoriya-3d-pechaty>. — Дата доступа: 24.02.2023.

5. 3D-печать домов: развитие технологии и первые применения в мире [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://npr.by/3d-pechat-domov-razvitie-tehnologii-i-pervye-primeneniya-v-mire>. — Дата доступа: 27.02.2023.

6. Есть ли перспективы у 3D-печати домов в России? [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.oknamedia.ru/novosti/est-li-perspektivy-u-3d-pechaty-domov-v-rossii-52305>. — Дата доступа: 01.03.2023.

7. Белорусы строят большой 3D-принтер, чтобы печатать на нем мебель для городских улиц [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://realt.onliner.by/2019/12/15/3d-printer-3>. — Дата доступа: 26.02.2023.