

Научная статья
УДК 630.233

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОМОВ ИЗ ДРЕВЕСНО-КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мариамна Павловна Лошкарева¹, Андрей Андреевич Шарапкин²,
Владимир Геннадьевич Новоселов³

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ loshkareva.mariamna@mail.ru

² andrey404@mail.ru

³ novoselovvg@m.usfeu.ru

Аннотация. Рассмотрены технологии и оборудование для изготовления ограждающих конструктивных элементов зданий при помощи строительной печати 3D-принтером. Показана применимость принтеров портального типа для строительства малоэтажных домов усадебного типа. Проанализированы строительные смеси с использованием древесных заполнителей и различных минеральных вяжущих и рекомендован опилкобетон на цементном вяжущем, как наиболее доступный по ингредиентам и обладающий необходимыми технологическими и эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: строительство, технологии, 3D-печать, строительные смеси, опилкобетон

Scientific article

APPLICATION OF 3D PRINTING FOR THE CONSTRUCTION OF HOUSES MADE OF WOOD-COMPOSITE MATERIALS

Mariamna P. Loshkareva¹, Andrey A. Sharapkin², Vladimir G. Novoselov³

^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ loshkareva.mariamna@mail.ru

² andrey404@mail.ru

³ novoselovvg@m.usfeu.ru

Abstract. Technologies and equipment for manufacturing enclosing structural elements of buildings using construction printing with a 3D printer are considered. Shows the applicability of portal-type printers for the construction of low-rise manor-type houses. Construction mixtures using wood aggregates and various mineral

binders were analyzed and sawdust concrete on cement binder was recommended as the most accessible for ingredients and having the necessary technological and operational properties.

Keywords: construction, technology, 3D printing, building mixtures, sawdust concrete

Введение. В Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2021 г. N 312-р, одной из проблем, сдерживающих развитие лесного комплекса, названа низкая степень использования отходов древесины. В качестве одного из основных направлений развития сферы лесной промышленности предусматривается обеспечение комплексного использования лесного сырья, включая низкокачественную древесину. В то же время, малоэтажное строительство индивидуальных жилых домов и хозяйственных построек в лесонасыщенных регионах традиционно ведется с использованием в качестве стеновых материалов бревен и брусьев из высококачественной древесины. Наряду с высокими механическими и теплотехническими свойствами такие материалы подвержены биоповреждениям и отрицательному воздействию метеорологических факторов окружающей среды, а трудоемкость строительного процесса высока и плохо поддается механизации. В связи с этим актуальным является разработка и внедрение технологии автоматизированного возведения ограждающих конструкций зданий с использованием композиционных материалов на основе древесных наполнителей и минеральных связующих.

Основная часть. Строительная 3D-печать – новейшая технология, позволяющая строить значительно быстрее и дешевле объекты сложной геометрии. 3D-печать завоевывает мир и это настоящая научно-техническая революция, происходящая на наших глазах [1]. В основном преобразования направлены на сокращения сроков строительства, увеличение периода эксплуатации конструкции, экономию трудовых затрат и рабочей силы, а также извлечение экономической выгоды.

Технология строительной печати представляет собой [2] последовательно этапы:

- создание компьютерной 3D-модели объекта;
- деление модели на слои в поперечном сечении;
- перевод модели в цифровые данные (g-code);
- передача исполняемого кода на печатающую головку-экструдер;
- послойная экструзия строительной смеси в соответствии с заданной моделью;
- отвердевание материала до завершения формирования объекта (изделия).

Известно о трех способах [3] создания объемной конструкции:

1. Послойное экструдирование вязкой рабочей смеси.

В этом случае из рабочего «сопла» выдавливается смесь бетона с добавками.

2. Метод спекания (селективное спекание).

При этой технологии в рабочей зоне 3D-машины происходит расплавление рабочей смеси, причем плавление достигается применительно к строительству сконцентрированным лазером или солнечным лучом, а рабочей смесью выступает обычный песок.

3. Метод напыления компонентной склейки.

Из рабочего сопла выходит струя песка, которая тут же смешивается с клеящим составом (катализатором), образуя объем в заданной точке.

В практике строительства в настоящее время получил распространение первый способ – послойное экструдирование вязкой рабочей смеси с помощью строительных 3D-принтеров.

В настоящее время известно о существовании трех видов конструкций принтеров: порталные, с дельта-приводом, и на базе промышленных манипуляторов.

Основной составляющей порталного принтера является рама, на которой смонтировано устройство [4], перемещающееся линейно в плане по направляющим, установленным вдоль здания, а также устройства для передвижения сопла и поднятия конструкции принтера. Таким образом, передвижение осуществляется в трех взаимно перпендикулярных направлениях по осям.

Строительный 3D-принтер (рис. 1) имеет сопло или экструдер и выдавливает из него быстротвердеющую рабочую смесь. Поверхность, на которой создается объемное изделие, называется рабочей зоной и имеет размеры, задаваемые величиной хода сопла. Причем опалубки не требуется. То есть, строительная машина объемной печати является самодостаточным механизмом, способным, при подключении электроэнергии, буквально на голом месте создать готовое здание.

Система для печати с помощью 3D-принтера (рис. 2) состоит из следующих элементов:

- система движения (козловой кран или роботизированный манипулятор);
- система экструзии (печатающая головка с насадкой);
- портативная смесительная установка;
- система накачки (контролируется электроникой);
- блок управления (позиционирование и система управления);
- система мониторинга (камеры, мониторы отслеживания за процессом печати);
- система безопасности (автоматическое отключение при необходимости).



Рис. 1. Строительный 3D-принтер

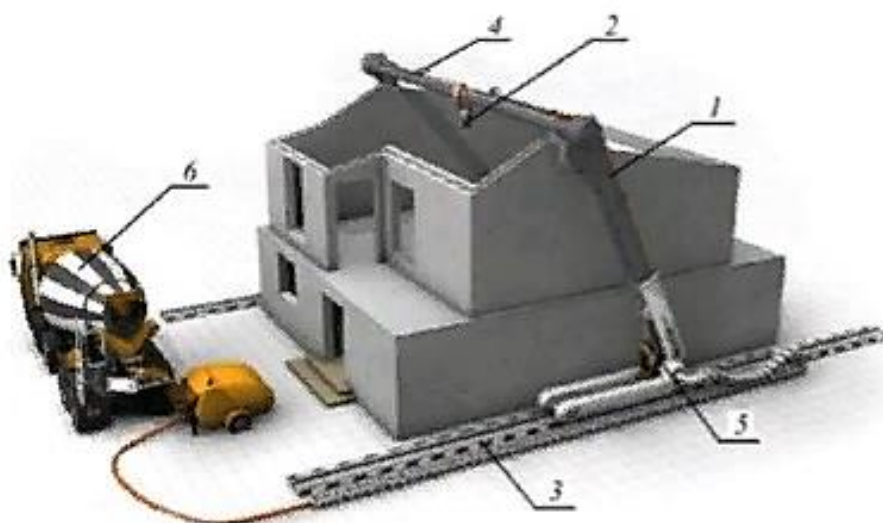


Рис. 2. Система для печати зданий с помощью 3D-принтера:
 1 – рама; 2 – печатающий оголовок (экструдер); 3 – рельсы, направляющие вдоль здания; 4 – механизм передвижения экструдера поперек рабочей поверхности; 5 – устройство для поднятия конструкции принтера по оси z;
 6 – автобетоносмеситель для подачи строительных чернил

В 2017 г. в особой экономической зоне «Сколково» (Москва) создана дочерняя компания «АМТ» (Additive Manufacturing Technologies). Сфера деятельности московской дочки: разработка и производство строительных 3D-принтеров, продажа и сервисное обслуживание оборудования на зарубежных рынках.

У всех принтеров скорость позиционирования 12 м/мин, точность позиционирования 2 мм. Принтеры позволяют производить широчайший ассортимент продукции: здания высотой до 80 м, малые архитектурные формы (уличная мебель, заборы, фонтаны), железобетонные изделия (кольца, колодцы, перемычки, лестницы, башни, короба), архитектурные элементы. Принтеры способны укладывать смесь со скоростью до 25 м². однокамерной стены в час. Для индивидуального жилищного строительства

наиболее подходит принтер модели S-300. Характеристика строительных 3D-принтеров в России приведена в таблице.

Характеристика строительных 3D-принтеров в России

№	Модель принтера	Производительность, м ³ /ч	Рабочая зона, мм (длина, ширина, высота)	Потребляемая мощность, кВт	Расход бетона, м ³
1	S-300	2,5	11000x11000x4000	12	0,12–0,25
2	S-3030	0,6	2500x2300x800	2,5	0,12
3	S-500	2,5	31000x11000x80000	12	0,12–0,35
4	S-6044	0,6	3500x3100x1000	2,5	0,12
5	S-6044 Long	0,6	7500x7100x1050	4	0,12
6	S-6045 M	0,7	3500x3100x1000	2,5	0,12

Важную роль в строительной печати играет состав рабочей смеси. Основой является быстротвердеющий бетон, который может включать в свой состав различные добавки для повышения различных прочностных характеристик несущих элементов здания. Бетонная смесь представляет собой высокопрочный бетон класса В [5]. Свойства бетона регулируются составом смеси – количеством и качеством цемента и заполнителей: щебня и песка, а также добавками пластификаторов. Из добавок ускорителей твердения наиболее распространен хлористый кальций, обеспечивающий лучшие результаты по сравнению с другими добавками. Недостатком такой рабочей смеси является высокая теплопроводность – коэффициент 1,29–1,52 Вт/(м·°С) бетона, что в российских климатических условиях требует значительной толщины ограждающих конструкций и дополнительной теплоизоляции. И главное – не решается проблема использования древесных отходов.

Известно несколько видов строительных смесей с использованием в качестве заполнителя древесных частиц: фибролит, арболит, опилкобетон (на цементном вяжущем), ксилолит (на каустическом магнезите или бишофите).

Смеси на магнезиальных вяжущих [6] не получили широкого распространения ввиду дороговизны минеральных компонентов, сложности и малодоступности оборудования для их приготовления.

Фибролит – материал, состоящий из древесной шерсти и застывшего цементного камня [7]. Кроме того, в состав фибролита входят различные минеральные добавки, которые снижают способность древесины впитывать воду и нейтрализуют негативное воздействие водорастворимых сахаров на цементный раствор. Фибролит обладает высокими теплоизоляционными свойствами, коэффициент теплопроводности 0,07 Вт/(м·°С), и высокой шумопоглощающей способностью – 0,8. К недостаткам можно отнести высокое водопоглощение – 35 %, низкую прочность на сжатие – 0,2 МПа и,

главное, необходимость специальной обработки цельной древесины на древошерстных станках и невозможность использования мягких древесных отходов (стружка, опилки).

Арболит – легкий бетон на цементном вяжущем, древесной дробленке и химических добавках [8]. Дробленка должна соответствовать следующим требованиям: оптимальные размеры частиц по длине 20 мм, по ширине 5 мм, по толщине 5 мм. Содержание примеси коры в дробленке должно быть не более 10%, хвои и листьев — не более 5 % массы дробленки, она не должна иметь видимых признаков плесени и гнили, а также примесей инородных материалов, содержание водорастворимых редуцирующих веществ (сахаров) не должно превышать 2 %. В зависимости от содержания цементного вяжущего различают арболиты: плотный; крупнопористый и поризованный. Достоинствами арболита являются низкий коэффициент теплопроводности 0,07 Вт/(м·°С), высокая шумопоглощающая способность – 0,8, более высокая прочность на сжатие – 0,4 МПа. К недостаткам можно отнести высокое водопоглощение – 25 % и, главное, – необходимость специальной обработки цельной древесины на дробильном оборудовании с получением дробленки с содержанием до 75 % фракции размером более 10 мм. Это обуславливает низкую подвижность рабочей смеси, что негативно скажется на качестве получаемого стенового материала.

Опилкобетон [9] представляет собой разновидность арболита, где в качестве заполнителя в основном используется мелкая фракция древесных частиц-опилок размером до 5 мм, ввиду чего рабочая смесь обладает достаточной подвижностью. Главным достоинством является высокая доступность заполнителя, так как доля опилок в составе мягких древесных отходов превышает 50 %. Они не требуют дополнительной механической обработки и легко отсортировываются от более крупных фракций. Цемент и песок также являются доступными и относительно недорогими компонентами рабочей смеси. Кроме того, из-за малого веса опилкобетона (в сравнении с обычным бетоном), нагрузка на фундамент существенно уменьшается, следовательно, снижаются затраты на устройство самого фундамента. Рецептов изготовления опилкобетона существует достаточно много, но главное – чтобы состав заполнителей и вяжущих средств имел высокое качество. Вот один из возможных рецептов, для которого потребуется:

- цемент – 1200 кг/м³;
- песок – 1550 кг/м³;
- гашеная известь – 600 кг/м³;
- опилки – 220 кг/м³.

Коэффициент теплопроводности опилкобетона 0,08...0,17 Вт/(м·°С), прочность на сжатие – 0,4 МПа, шумопоглощающая способность на уровне арболита.

Еще один плюс этого продукта – долговечность. Здания, построенные из него, имеют очень длительный срок службы. Материал прочен, стоек к деформациям на растяжения и изгибы, а также к ударным нагрузкам. Несмотря на то, что опилкобетон на 50 % состоит из древесных опилок, он весьма огнестоек из-за содержания в нем цемента и песка. В течение более чем двух часов он способен выстоять при температуре до 1200 градусов.

Механической обработке опилкобетон поддается очень хорошо. Он легко распиливается, его можно сверлить, забивать в него гвозди, фрезеровать и т. д. К грибку и плесени устойчив, гниению не подвержен, морозоустойчив. Обладает хорошим сцеплением со штукатурными и бетонными составами, прекрасно контактирует с клеящими и лакокрасочными средствами.

Заключение. Наличие промышленно выпускаемых в России строительных принтеров позволяет тиражировать технологию 3D-печати для возведения ограждающих конструкций зданий различного назначения.

Перспективным древесно-композиционным материалом для малоэтажного домостроения по своим конструктивно-технологическим, эксплуатационным и экономическим качествам следует признать опилкобетон.

Список источников

1. Обзорная статья по 3D-строительным. – URL: <http://geektimes.ru/post/224299> (дата обращения: 25.11.2022).
2. Рудяк, К. А. Возведение зданий методом послойного экструдирования / К. А. Рудяк, Ю. О. Чернышев // Современные концепции развития науки : материалы Международной научно-практической конференции. – Казань, 2016. – С. 147–151.
3. Компания АТМ. 3D-проектирование домов. – URL: <https://www.amt-print.com.ru/tehnologiya/> (дата обращения: 26.11.2022).
4. Обзорная статья по 3D-строительным технологиям. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-3d-pechati-v-stroitelstve-i-perspektivy-ee-razvitiya/viewer> (дата обращения: 27.11.2022).
5. Иноземцев, А. С. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве / А. С. Иноземцев, Е. В. Королев, Зыонг Тхань Куй. – URL: <file:///C:/Users/123/Downloads/analiz-suschestvuyuschih-tehnologicheskikh-resheniy-3d-pechati-v-stroitelstve.pdf> (дата обращения: 29.11.2022).

6. Липунов, И. Н. Интенсификация технологического процесса утилизации древесных отходов / И. Н. Липунов, А. А. Юпатов. // Технология древесных плит и пластиков : межвузовский сборник / Уральская государственная лесотехническая академия. – 1997. – С. 97–103. – URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/11072> (дата обращения: 30.11.2022).

7. Фибролитовые плиты: свойства, цены, плюсы и минусы, отзывы владельцев домов из фибролита. – URL: <https://rcycle.net/drevesina/struzhka/produksiya-st/fibrolitovye-plity-svoystva-tseny-plyusy-i-minusy> (дата обращения: 30.11.2022).

8. ГОСТ 19222–2019. Межгосударственный стандарт. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200165761> (дата обращения: 30.11.2022).

9. Опилкобетон возвращается на строительный рынок: успех неизбежен. – URL: <http://libeton.ru/vidy/opilkobeton.html> (дата обращения: 30.11.2022).