

М.Н. Свирский

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
Россия

Анализ возможностей применения 3D- технологий в строительстве

Объектом исследования является – 3D технологии в строительстве. Цель исследования заключается в анализе возможностей применения 3D-технологий в строительстве. Актуальность строительства при помощи 3D-технологий обусловлена низкой стоимостью жилья, безопасностью производства, а также скоростью возведения домов. Использование 3D-технологий дает возможность возводить здания практически любой формы. В ходе анализа рассмотрены процессы возведения домов при помощи 3D-печати. Установлены и изложены различные преимущества и недостатки применения 3D-технологий. Также рассмотрены возможности печати различных конструкций 3D-принтером. Произведен анализ программного обеспечения, которое используется для 3D-моделирования и непосредственно управления самим принтером. В статье рассмотрены строительные материалы, используемые для изготовления несущих конструкций домов технологией 3D-печати. Приведено обоснование экономической эффективности применения 3D-технологий. Сделан прогноз развития 3D-технологий.

Ключевые слова: принтеры, 3d-печать, 3d-технологии, трехмерные технологии, строительство, бетонная печать.

M. N. Svirskiy

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

The analysis of opportunities of application 3D - technologies in a building

Object of a research is – 3D technologies in a construction. The research purpose consists in the analysis of opportunities of application 3D - technologies in a construction. Relevance of a construction by means of 3D - technologies is caused by the low cost of housing, safety of production, and also speed of construction of houses. Use 3D - technologies gives the chance to build buildings practically of any form. During the analysis processes of construction of houses by means of 3D - seals are considered. Various benefits and defects of application 3D - technologies are revealed and stated. The possibilities of a seal of various designs are also considered by the 3D-printer. The analysis of the software which is used for 3D - modeling and directly control of the printer is made. In article the construction materials used for production of the bearing structures of houses by 3D technology - seals are considered. Reasons for cost efficiency of application 3D - technologies are given. The forecast of development 3D - technologies is made.

Keywords: printers, 3d - a seal, 3d - technologies, three-dimensional technologies, a building, a concrete seal.

В современном мире во всех сферах нашей жизни применяются и разрабатываются современные технологии. Ярким примером являются «3D-технологии», которые приобрели колоссальное значение в строительстве. Появилась возможность переноса объектов с трехмерной плоскости в трехмерную реальность, что ранее было несбыточной мечтой инженеров. Казалось бы, России до такой технологии еще далеко, но инженеры из Иркутска уже напечатали в Московской области первый жилой дом при помощи мобильного 3D-принтера. Строительство осуществлялось компанией ApisCor, которая одновременно является создателем данного мобильного 3D-принтера. Их принтер печатает в двух плоскостях, что позволяет одновременно возводить и пол, и стены. Также данный принтер оснащен поворотной головкой, которая дает возможность печатать также и наклонные конструкции. Для работы

принтера компании ApisCor требуется 8 кВт энергии, а суммарное время работы принтера за все строительство составило 20 часов. В процессе управления принтером задействовано два человека, один из которых оператор, а другой программист. Все эти факторы напрямую влияют на стоимость всего строительства, при котором стоимость квадратного метра составила 16 тысяч рублей [6].

Исследования, направленные на изучение возможности применения 3D печати в строительстве начались с середины 2000-х годов параллельно в различных университетах мира. Большой вклад в развитие данной технологии внес профессор Берох Кошневис из университета Калифорнии. В 2012 году он разработал свой инновационный проект по печати домов 3D-принтером. Одно из самых перспективных направлений развития новой технологии профессор считает возможность строительства на Луне и на Марсе, так как принтерам для работы не нужен кислород и они способны печатать в вакууме или при высоких температурах.

В настоящее время применение 3D-принтеров в строительстве весьма ограничено. Основной причиной является отсутствие нормативной и законодательной базы. Поэтому наиболее актуально применение в возведении гаражей, беседок и ландшафтных построек, а также в малоэтажном строительстве. Еще одной причиной ограниченной возможности применения 3D-оборудования в случае печати отдельных конструкций является необходимость больших площадей. Относительно небольшие принтеры размерами 4 x 6 метров, предназначенные для печати отдельных элементов зданий, требуют больших помещений. Для таких принтеров необходимы участки приготовления бетонной смеси, сушки, помещения для складирования и погрузки.

Применение технологий 3D-печати позволяет возводить здания практически любой формы, что дает дизайнерам и архитекторам создавать уникальные проекты. Также происходит автоматизация ручного труда, что позволяет уменьшить число строительных рабочих и минимизировать риск производственных травм. По команде оператора 3D-принтер будет создавать фундамент будущего здания, формировать его стены, а бригаде строителей останется лишь контролировать процесс 3D-печати и укладывать плиты перекрытия на разных этапах строительства здания. Еще одно преимущество при использовании технологии трехмерной печати – скорость. Данная технология оптимально подходит для строительства домов после чрезвычайных происшествий или для создания социального жилья. Ярким примером служит проект в Шанхае – возведенная за сутки группа из десяти 3D-печатных домов, каждый площадью в 200 квадратных метров. Благодаря технологии 3D-печати стоимость одного такого дома составила 4800 долларов. Печать осуществлялась всего здания целиком огромным 3D-принтером длиной 150 метров, шириной 10 м и высотой 6,6 м. Взамен новым строительным материалам компанией использовались строительные и промышленные отходы и при помощи компьютерного моделирования в конструкциях домов, были заложены разъемы под трубопровод, электропроводку и оконные блоки [3].

Строительный 3D-принтер при работе использует метод экструдирования, при котором каждый новый слой строительного материала выдавливается из принтера поверх предыдущего слоя по заложенному программой контуру, выращивая стены здания. Такая технология носит название FDM (Fused Deposition Modeling – моделирование методом послойного наплавления) [4]. В настоящее время разработано множество программ, в которых можно создать 3D-модель. Большинство данных программ находятся в свободном доступе. О высоком качестве и точности при применении 3D-печати говорить не приходится, но это не критично для строительства, так как бетон легко поддается последующей обработке и отделке. Однако существует технология, которая дает возможность нанесения слоев толщиной около 15 микрон, что в разы тоньше человеческого волоса.

После создания в программном комплексе модели здания информация передается по проводу с компьютера на 3D-принтер в G-коде. Отметим, что G-код – это множество точек координат, по которым 3D-принтер прокладывает материал, в результате чего появляется физический объект [1]. Для управления непосредственно самим принтером есть универсальные программы CURA, POLYGON, Repetier-Host, но в некоторых случаях программу управления принтером предоставляет его производитель [2].

Принцип строительства при помощи трехмерной печати довольно простой. После подготовительных процессов площадки строительства рабочим необходимо установить вдоль контура будущего здания рельсы, на которых располагается конструкция 3D-принтера. Принтер имеет сопло или экструдер, через которое выдавливается бетонная смесь. В результате послойной печати, при которой каждый новый слой укладывает поверх предыдущего, формируется необходимая конструкция. Данная технология позволяет возводить дома без использования опалубки.

Возможность печати трехмерных объектов позволяет не только возводить дома, но и создавать экономичные и надежные строительные материалы. Ученым из Голландии при помощи 3D-печати удалось создать керамические кирпичи Polybrick, которые внешним видом похожи на шлакоблоки. Одним из преимуществ таких кирпичей является то, что для их кладки не требуется применять клей или строительный раствор как в случае с обычными кирпичами. Кирпичи Polybrick имеют коническую форму и надежно соединяются друг с другом.

Кирпичи Polybrick создаются путем печати 3D-принтером из специального цветного порошка. В последствии они обжигаются слабым огнем, приобретая вид атласной глазури. Затраты на производство данных кирпичей минимальны, так как в качестве исходного сырья используется биопластик, который при вторичной обработки измельчен в мелкий порошок.

Полноценный 3D дом, при строительстве которого используются кирпичи Polybrick, уже строится. Данный проект дома в Амстердаме разработала компания DUS Architects. Кроме напечатанных на принтере кирпичей будут использоваться и напечатанные плиты перекрытий, перемычки и другие конструкции. Такой дом будет иметь 3 этажа и мансарду. Прежде чем приступить к строительству, была разработана модель дома в масштабе 1 к 20, чтобы протестировать и испытать надежность конструкций [6].

В большинстве случаев строительным материалом для возведения несущих конструкций является быстротвердеющий порошковый бетон, который может быть армирован стальной или полимерной микрофиброй. Особенностью реакционно-порошкового бетона является отсутствие крупного заполнителя без потери прочностных свойств и высочайшие эксплуатационные характеристики. Так же могут быть использоваться и более дешевые виды бетонов, такие как мелкозернистый и песчаный бетон, модифицированный добавками (гиперпластификаторы, ускорители твердения, фибра). Песчаные бетоны на реакционно-порошковой связке обладают высоким коэффициентом конструктивного качества, что позволяет создавать конструкции с меньшим объемом по сравнению с обычными конструкциями, соответственно меньшим весом и сниженным расходом материалов. Результаты проведенных испытаний показали, что образцы из песчаных бетонов обладают высокими показателями прочности (более 100 МПа при испытании на сжатие) [10]. При своих высоких эксплуатационных свойствах бетон также обладает преимуществом с точки зрения экономики. Такие составы бетона имеют низкий расход цемента, не имеют в своем составе щебня, рассчитаны на использование местных песков, которые занимают в бетоне большую часть объема. В конечном итоге увеличение качества продукции не приводит к значительному повышению себестоимости. Так же возможно

использование смеси цемента и строительного мусора, что дает возможность использовать технологию безотходного производства.

Но существуют и недостатки материалов, используемых в строительстве при помощи 3D-технологий. На данный момент это проблемы в подаче бетона на большую высоту, так как бетон быстро затвердевает еще в трубопроводе. Также недостатком бетона является плохая изоляционная способность. Стены из порошкового бетона без должного утепления будут пропускать холод в дом.

Другой вопрос связан с армированием конструкций. При строительстве зданий, нагрузка в которых на несущие конструкции велика, возникает необходимость должного армирования. При вертикальном армировании печатающихся конструкций арматура мешает принтеру свободно перемещаться на нужной высоте. Однако существует инновационная технология тканых объемно-сетчатых каркасов. При строительстве такие каркасы могут связываться в единую конструкцию. В Китае при строительстве группы домов все конструкции были армированы стеклопластиковой сеткой. Но данное армирование все же вызывает вопросы, касающиеся надежности конструкций. Вполне вероятно, что проблема может быть решена путем использования одновременно двух устройств – одно будет монтировать арматуру, а другое печатать бетонной смесью.

Другое уязвимое место – вибрирование бетона. При монолитном или при блочно-панельном строительстве бетон вибрируют для удаления воздуха и воздушных пустот, благодаря чему бетон приобретает высокую прочность. В случае строительства зданий и сооружений при помощи печати конструкций 3D-принтером вследствие отсутствия опалубки и краткосрочного размещения поддерживающих формовочных лопаток вибрирование фактически невозможно.

Все эти спорные технические моменты нельзя назвать неразрешимыми, так как они присущи для любой новой технологии, только начинающей свое развитие. Какое-то время ученым и инженерам придется потратить на то, чтобы убрать все актуальные проблемы, нивелировать недостатки и полностью автоматизировать все процессы, протекающие на строительной площадке.

В настоящее время активно разрабатываются 3D-принтеры, которые способны печатать металлические конструкции и изделия. Уже в ноябре 2013 года компания Solid Concepts создала на принтере металлический полностью функционирующий пистолет M-1911 калибра 45. А в 2016 году компания MESH MOULD создала систему 3D-печати, способную непрерывно печатать металлические конструкции из стальной проволоки толщиной 3 мм [3].

Все вышеупомянутые проекты ориентированы на возведение несущих конструкций и стен, однако 3D-принтеры уже получили применение и в создании внутреннего интерьера. Компания Emerging Objects считает, что возможности 3D печати отнюдь не ограничиваются строительством наружных стен и использует трехмерную печать для создания межкомнатных перегородок. Инженеры этой компании использовали для приготовления раствора строительный клей и соль, получив экономичный, легкий полупрозрачный материал. Материал получил название Saltygloo и, несмотря на свою легкость, он прочнее цемента. Для получения блеска стены нужно отшлифовать, но также можно оставить шереховатость. В результате в помещениях с межкомнатными перегородками из материала Saltygloo создается эффектное освещение.

Таким образом, применение технологий 3D-печати является актуальным для всех видов деятельности людей. Технология печати трехмерных моделей имеет огромные перспективы развития в таких сферах, как медицина, строительство, легкая и тяжелая промышленность, военная промышленность, машиностроение и так далее. Можно с достаточной уверенностью сказать, что применение 3D-принтеров позволит печатать

различные сложные технические устройства, военное оружие, одежду и даже жизненно важные органы человека. На сегодняшний день существуют технологии печати человеческой кости. В 2016 году специалисты Сибирского федерального университета создали прототип костей человека из уникального полимера.

Однако, как бы ни была перспективна и прекрасна 3D-печать, не стоит забывать и о последствиях, которые могут возникнуть в обществе – ведь никто не дает гарантии, что люди не будут печатать, к примеру, оружие с последующим его применением в агрессивных целях. Уже сейчас любой из нас может купить домашний 3D-принтер, которому по силам напечатать пистолет. В мае 2013 года человек по имени Коди Уилсон напечатал, а также разместил в интернете модель функционирующего пистолета, материалом которого были фотополимеры. Из 16 деталей только один баек был металлическим. Это означает, что ни один металлодетектор такой пистолет обнаружить не сможет. Именно поэтому во многих городах США принят закон об запрете использования 3D-принтеров для создания оружия [3].

Современную стадию развития аддитивных технологий многие справедливо сравнивают с периодом, когда на рынке появились первые модели персональных компьютеров. В это время польза от компьютеров мало кому казалась довольно очевидной, несмотря на это меньше чем за десять лет компьютерным технологиям удалось перевернуть мир, облегчив жизнь обычным людям и образовав новые рынки для бизнеса. Вполне вероятно, что сегодня мы стоим на пороге сопоставимых, если не больших по своему масштабу изменений.

Библиографический список

1. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
2. Поляков А.Н., Сердюк А.И., Романенко К.С., Никитина И.П. Моделирование несущей системы станка с использованием 3D-принтера DIMENSION ELITE– М.: Издательство ОГУ, 2013. – 140 с.
3. Кэнесса Э., Фонда К., Дзеннаро М. Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития / Перевод изд. – М: Международный центр теоретической физики Абдус Салам – МЦТФ, 2013. – 192 с.
4. Horvath J. Mastering 3D printing // Technology in action, 2014. – 195 с.
5. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 608 с.
6. Печать домов на 3D принтере. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://make-3d.ru/articles/3d-printer-dlya-pechati-domov/> (дата обращения: 18.02.2017).
7. 3D принтер для строительства домов как бизнес. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://p-business.ru/3d-printer-dlya-stroitelstva-domov-kak-biznes/> (дата обращения: 18.02.2017).
8. Барретт. К. Эра трехмерной печати // Архитектура и строительство. – 2013. – № 4. – С. 102–103.
9. Вильман Ю.А. Технология строительных процессов и возведения зданий. Современные и прогрессивные методы: Учебное пособие, 4-е изд., дополненное и переработанное. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 336 с.
10. Белов В.В., Петропавловская В.Б., Храмцов Н.В. Строительные материалы: Учебник для бакалавров. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 272 с.

References

1. Talapov V.V. Osnovy BIM: vvedenie v informatsionnoe modelirovanie zdanii [The basics of BIM: introduction to building information modeling]. Moscow, DMK Press, 2011. – 392 s..
2. Poliakov A.N., Serdiuk A.I., Romanenko K.S., Nikitina I.P. Modelirovanie nesushchei sistemy stanka s ispol'zovaniem 3D-printera DIMENSION ELITE [Simulation of the bearing system of the machine using a 3D printer DIMENSION ELITE]. – Moscow, OGU, 2013. – 140 s.
3. Kenessa E., Fonda K., Dzennaro M. Dostupnaia 3D pechat' dlia nauki, obrazovaniia i ustoichivogo razvitiia [Affordable 3D printing for science, education, AI for sustainable development]. Moscow, Mezhdunarodnyi tsentr teoreticheskoi fiziki Abdus Salam – MTsTF, 2013. – 192 s.
4. Horvath J. Mastering 3D printing // Technology in action, 2014. – 195 s.
5. Krasil'nikov N.N. Tsifrovaia obrabotka 2D- i 3D-izobrazhenii [Digital processing of 2D and 3D images]. Ucheb. posobie., Saint Petersburg, BKhV-Peterburg, 2011. – 608 s.
6. Pechat' domov na 3D printere [Print houses on a 3D printer], available at: 3d.ru/articles/3d-printer-dlya-pechati-domov/.
7. 3D printer dlia stroitel'stva domov kak biznes [3D printer to build houses as a business], available at: <http://p-business.ru/3d-printer-dlya-stroitelstva-domov-kak-biznes/>.
8. Barrett. K. Era trekhmernoi pechati [The era of three-dimensional printing]. Arkhitektura i stroitel'stvo, 2013, no. 4, pp. 102–103.
9. Vil'man Iu.A. Tekhnologiya stroitel'nykh protsessov i vozvedeniia zdanii. Sovremennye i progressivnye metody [Technology of construction processes and the construction of buildings. Modern and progressive methods]. Uchebnoe posobie, 4-e izd., dopolnennoe i perabotannoe, Moscow, ASV, 2014. – 336 s.
10. Belov V.V., Petropavlovskaya V.B., Khramtsov N.V. Stroitel'nye materialy [Building materials]. Uchebnik dlia bakalavrov, Moscow, ASV, 2014. – 272 s.

Об авторах

Свирский Максим Николаевич (Пермь, Россия) – студент четвертого курса строительного факультета, направление «Строительство», профиль «Промышленное и гражданское строительство», ПНИПУ (614034, г. Пермь, ул. Генерала Панфилова, 8-76, тел.: 8-922-320-60-67. e-mail: sw.maksim@mail.ru)

About the authors

Svirskiy Maxim Nikolaevich (Perm, Russia) – the student of the fourth year of construction faculty, direction "Building", profile "Industrial and Civil Engineering", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Generala Panfilova street, 8-76, ph.: 8-922-320-60-67. e-mail: sw.maksim@mail.ru)