

2. СП63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М., 2012.
3. Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой. М. : НИИЖБ Госстроя, СССР, 1978. 21 с.
4. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. М. : Стройиздат, 1996. 416 с.: ил.
5. Ерышев В. А. Методика расчета деформации бетона при режимных нагружениях : монография. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. 131 с. : пер.
6. Кокарев С. А., Кокарев А. М. К вопросу оценки деформаций зажатия трещин стержневых железобетонных элементов // ПГС. 2012. № 8. С. 46–47.
7. Карпенко Н. И., Кокарев А. М., Алдахов С. Д. Основные параметры методики расчета железобетонных элементов на знакопеременную нагрузку // Сельскохозяйственные здания. Конструкции, методы расчета, теплофизика. М. : ЦНИИЭПсельстрой, 1986. С. 44–57.
8. СТО ТОО 620200399412-01-2012. Стандарт организации «Арматура неметаллическая композитная для армирования бетонных конструкций». Астана, 2012. 32 с.

3D-ПЕЧАТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е. А. Терновая

*Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет*

Строительная отрасль сегодня сталкивается с такими серьезными проблемами, как низкая производительность труда, высокая статистика аварийных ситуаций на строительных площадках, недостаток квалифицированных рабочих. Такое направление как 3D-печать позволило недавно разработанным в лабораторных условиях технологиям выйти на новый уровень. Аддитивные технологии – обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия по данным цифровой модели (или САД-модели) методом добавления материала. На сегодняшний день, аддитивные технологии, прошедшие путь от 3D-печати макетов и быстрого прототипирования к изготовлению готовых изделий для различных отраслей промышленности, привлекают все больше и больше инвестиций. Рост интереса к аддитивным технологиям обуславливается множеством факторов: высокий уровень автоматизации производства, улучшение качества продукции, ускорение процессов создания, возможность оптимизации САД моделей, уменьшение отходов производства и т.д.

Изготовление опалубки составляет от 35 до 60 % от общей стоимости бетонных конструкций. Возможность строительства бетонных конструкций без опалубки является важным преимуществом с точки зрения снижения затрат, скорости производства и архитектурной свободы, а также облегчения установки инженерных коммуникаций. Высокая автоматизация и роботизация процесса позволяют реализовывать проекты в агрессивных средах, не подвергая опасности здоровье персонала. Одним из первых, кто предложил идею о постепенной автоматизации строительного процесса, являлся профессор кафедры машиностроения Стэнфордского университе-

та Джозеф Пенья. Именно он предложил использовать материалы на основе цемента для аддитивного подхода к строительству. Берох Хошневис, профессор из Университета Южной Калифорнии, предложил идею реализации строительной 3D-печати. В середине 1990-х гг. он предложил инновационную технологию Contour Crafting (CC) [1]. Contour Crafting (CC) – одна из аддитивных строительных технологий, способная применяться в строительстве крупномасштабных объектов (рис. 1). Как утверждает Берох Хошневис, CC может позволить печатать несколько зданий за прогон. В качестве материалов могут быть использованы: полимеры, керамический шликер и бетон. В процессе экструзии материала за счет шпателей, установленных на подающем сопле, образуется ровная поверхность. Высота слоя ограничивается размерами мастерков, кроме того она должна быть подобрана таким образом, чтобы при укладке верхних слоев предыдущие слои начинали схватываться и имели достаточную несущую способность. В технологии Contour Crafting предусматривается возможность проектирования инженерных коммуникаций в полостях стен, а также при использовании специального оборудования, закрепленного на раме, можно автоматизировать работы по их прокладке.



Рис. 1. Установка Contour crafting, США

Вслед за Contour Crafting, всему миру была представлена другая технология, которая получила название Concrete Printing (CP). Данная технология была впервые представлена в 2009 г. в университете Лафборо Ричардом Басуэллом и его коллегами для демонстрации ее потенциальных возможностей [2]. С тех пор у данной технологии в строительстве появилось множество приверженцев. Данный способ аналогичен технологии CC, то есть основан на послойном экструдировании строительной смеси. Основным отличием от CC является то, что в методе CP на экструдере отсутствуют шпатели (рис. 2), что дает возможность выполнять еще более геометрически сложные контуры. Именно благодаря этой особенности данный метод выглядит самым перспективным в строительстве, так как создание зданий и сооружений уникальных форм становится все более приоритетным и востребованным направлением в данной сфере. Недостатком яв-

ляется тот факт, что из-за отсутствия шпателей на экструдере появляется необходимость обработки поверхности напечатанного сооружения.



Рис. 2. Процесс построения по технологии ConcretePrinting

Принципиально отличающейся технологией в строительном аддитивном производстве является DShape. Технология D-Shape является изобретением компании Энрико Дини, главой компании MonolithUK [3]. Процесс печати с использованием данной технологии условно делится на 3 этапа: создание 3D-модели объекта, построение объекта, финальная обработка объекта. В отличие от методов, описанных выше, экструдер подает не готовую строительную смесь, а клеящее вещество на песок или другой материал, представляющий собой порошок. На этапе печати объекта слой порошка толщиной 5–10 мм равномерно наносится на область печати. Затем, на эту поверхность подается клеящее вещество. После этого наносится еще один слой порошка необходимой толщины, и процесс повторяется до завершения печати. В конце слой порошка, который являлся опорным, удаляется, а поверхность объекта шлифуется и полируется. Таким образом, процесс практически идентичен технологии BinderJetting. Отличным примером возможностей технологии DShape служит скульптура «Радиолярия», напечатанная еще в 2009 г. (рис. 3). Материалом для скульптуры послужил искусственный песчаник, а в качестве клеящего вещества выступал раствор с добавлением оксида магния. Полученный материал оказался достаточно прочным, чтобы выдержать вес всей конструкции и был абсолютно безвреден для окружающей среды.

А теперь о наших достижениях. Российские инженеры не отстают и работают над технологией строительной 3D-печати. Так, Никита Ченюнтай разработал мобильный строительный 3D-принтер APIS COR (рис. 4) [4]. Его изобретение принципиально отличается от конкурентов. APIS COR способен выполнять печать сооружения «изнутри», благодаря своей уникальной конструкции. Оставаясь на одном месте, 3D-принтер APIS COR может возводить слой за слоем стены из бетонной смеси. Дисперсное армирование качественно улучшает механические характеристики бетонов, а также позволяет сократить рабочее сечение конструкции и в ряде случаев отказаться от использования стержневой арматуры или уменьшить ее расход. Совместно с русско-итальянской компанией Renka Rus инжене-

ры APIS COR изучают возможность применения для строительства геополлимерных материалов, которые являются более экологичными.



Рис. 3. Скульптура «Радиолярия», изготовленная по технологии D-Shape

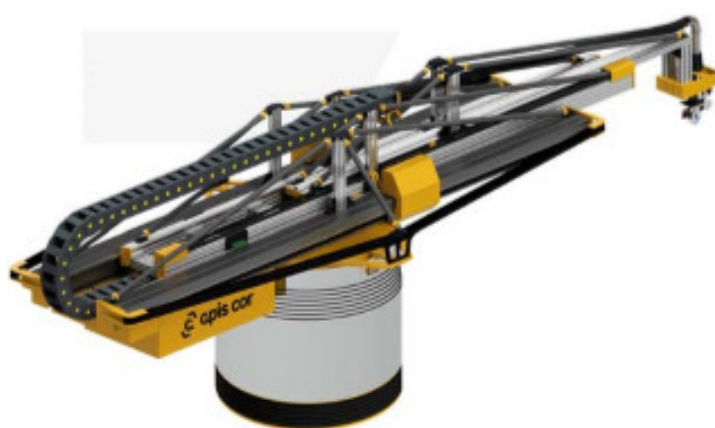


Рис. 4. Принтер APIS COR

Российская компания «СПЕЦАВИА», занимающаяся производством станков ЧПУ для металлообрабатывающей отрасли, разработала оборудование, предназначенное для строительной 3D-печати (рис. 5) [5]. Их продукция по типу относится к порталным принтерам, т.е. для его функционирования необходима система направляющих, обеспечивающих передвижение. На данный момент производятся принтеры нескольких модификаций. Компания ведет разработки по расширению применяемых составов, увеличению рабочего поля. Специально для «СПЕЦАВИА» компаниями-партнерами было разработано более 15 составов, используемых для печати. Компания «СПЕЦАВИА» предлагает следующие варианты исходного материала: каолиновая смесь, стекло-фибр бетон, цементная смесь М300 с минеральными добавками, мелкодисперсная цементная смесь, высокопрочная цементная смесь [6].



Рис. 5. Строительный 3D-принтер S-4063

Аддитивные технологии в промышленности на сегодняшний день уже достаточно распространены. Однако строительная отрасль является весьма консервативной и отстает в плане применения 3D-печати от других производств [7]. Внедрение аддитивных технологий в процесс возведения зданий и сооружений – процесс, требующий значительную долю НИОКР однако,

помимо университетов и научных групп, в данной области ведут свои разработки и крупные компании, интерес которых очевиден – 3D-печать зданий может кардинально изменить рынок недвижимости и смежных отраслей. Основными проблемами, решение которых позволит обеспечить серьезное развитие аддитивных строительных технологий, являются:

- 1) отсутствие нормативной базы,
- 2) необходимость развития рынка строительных материалов для 3D-печати,
- 3) высокая стоимость оборудования, связанная с отсутствием производства крупных серий.

Несмотря на то, что исследованиями и разработками аддитивных строительных технологий занимаются крупные мировые институты и большие корпорации, имеется большой потенциал научных исследований в данной области и применения их на практике.

Список литературы

1. Khoshnevis B., Dutton R. Innovative rapid prototyping process makes large sized, smooth surfaced complex shapes in a wide variety of materials // *Materials Technology*. 1998. Т. 13.
2. Gardiner J. Exploring the emerging design territory of construction 3D printing-project led architectural research. 2011.
3. Dini E. Method for automatically producing a conglomerate structure and apparatus therefor : пат. US8337736. 2012.
4. Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. Аддитивные технологии в машиностроении : учеб. пособие. СПб. : СПбГУ, 2013.
5. Малышева В. Л., Красимирова С. С. Возможности 3D-принтера в строительстве // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2013.
6. Стеенберг М. и др. Композиционный цемент на основе портландцемента, известняка и прокаленной глины // *Цемент и его применение*. 2012.
7. Кузьмин С. Н. 3D-принтеры. Рабочее поле и виды кинематических схем // Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15–25 апреля 2016 г. 2016.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*А. М. Кокарев¹, Б. Б. Утегенов¹, Б. Н. Середин¹,
Н. А. Страхова², Л. П. Кортюченко¹*

*¹Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет*

*²Государственный морской университет им. адмирала Ф. Ф. Ушакова
(г. Новороссийск)*

Серополимерные бетоны относятся к новым видам композиционных материалов, в состав которых входят серное вяжущее - модифицированная сера, не образующая кристаллической структуры, так называемая «полимерная» или «сополимерная» сера и инертные заполнители. К преимуществам серополимерных бетонов, по сравнению с цементными, относятся: