

СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ФИБРОБЕТОНОВ

Шорстова Е.С.

ФБГОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород e-mail: kuzik_alena@mail.ru

В данной статье рассматривается современное развитие аддитивного производства фибробетонных. Инновационные технологии аддитивного производства являются новым мировым трендом. Они получили широкое распространение во многих развитых странах. Показаны области применения аддитивных технологий. Аддитивные технологии в плане ресурсосбережения представляют собой идеальное революционное решение, так как потери материала практически равны нулю. В данной статье рассмотрены основные методы аддитивного производства. Вычислен объём рынка к 2021 году и проанализирована мировая статистика продаж. Аддитивные технологии стали активнее применяться для возведения жилых и коммерческих зданий. Разработали смесь с фиброволокном и минеральными добавками. После серии экспериментов остановились на подходящих пропорциях. Смесь получилась пластичной и прочной. Полученная смесь выдерживает 2 десятка слоёв при непрерывной печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии, фиброволокно, фибробетон, трехмерная печать

THE MODERN DEVELOPMENT OF ADDITIVE MANUFACTURING OF FIBER-REINFORCED CONCRETE

Shorstova E.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: kuzik_alena@mail.ru

This article discusses the current development of additive manufacturing of fiber-reinforced concrete. Innovative additive manufacturing technologies are a new global trend. They are widespread in many developed countries. Show the areas of application of additive technologies. Additive technologies in terms of resource conservation are the ideal revolutionary solution, since material loss is practically zero. Considered the basic techniques of additive manufacturing. Calculated market size by 2021 and analyzed global sales statistics. Additive technologies have become increasingly used for the construction of residential and commercial buildings. Developed a mixture of fiber and mineral supplements. After a series of experiments settled on the right proportions. The mixture is plastic and durable. The resulting mixture soak 2 dozen layers of continuous printing.

Keywords: additive technologies, fiberglass, fiber concrete, three-dimensional printing

Население планеты увеличивается быстрыми темпами, и каждому нужен дом. Скорость роста численности людей выше, чем скорость строительства домов и подготовки специалистов. На данном этапе строительство является единственной полнотой не автоматизированной отраслью производства в наше время. Участие людей требуется на всех стадиях, что оборачивается высокими трудозатратами, медленной скоростью, коррупционностью и вечным перерасходом бюджета. Кроме того, строительство – одна из самых опасных профессиональных сфер, исходя из числа несчастных случаев на производстве [1 – 19].

3D-печать или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели. Фактически, 3D-печать является полной противоположностью таких традиционных методов механического произ-

водства и обработки, как фрезеровка или резка, где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала (т.н. «субтрактивное производство»). 3D-принтерами называют станки с программным управлением, выполняющие построение детали аддитивным способом.

Хотя технология 3D-печати появилась еще в 80-х годах прошлого века, широкое коммерческое распространение 3D-принтеры получили только в начале 2010-х. Первый дееспособный 3D-принтер был создан Чарльзом Халлом, одним из основателей корпорации 3D Systems. В начале 21 века произошел значительный рост продаж, что привело к резкому падению стоимости устройств. Согласно данным консалтинговой фирмы WohlersAssociates, в 2012 году объем мирового рынка 3D-принтеров и сопутствующих сервисов достиг \$2,2млрд., показав рост на 29% по сравнению с 2011 годом.

3D-печатные технологии используются для прототипирования и распределенного производства в архитектуре, строительстве,

промышленном дизайне, автомобильной, аэрокосмической, военно-промышленной, инженерной и медицинской отраслях, биоинженерии (для создания искусственных тканей), производстве модной одежды и обуви, ювелирных изделий, в образовании, географических информационных системах, пищевой промышленности и многих других сферах [20 – 33].

Согласно исследованиям, домашние 3D-принтеры с открытым исходным кодом позволяют отыграть капитальные затраты на собственное приобретение за счет экономичности бытового производства предметов.

Основные методы аддитивного производства представлены в табл. 1.

Как и другие технологии аддитивного производства, струйная трехмерная печать подразумевает послойное построение физических объектов на основе цифровой

трехмерной модели. В качестве расходных материалов используются всевозможные порошки, наносимые последовательными тонкими слоями. Контуры модели вычерчиваются печатной головкой, наносящей связующий материал. Таким образом, частицы каждого нового слоя склеиваются между собой и с предыдущими слоями до образования готовой трехмерной модели.

Уже сегодня развиты все технологии, которые позволяют преобразовать индустрию строительства. Посредством 3D-принтера стены, крыши, полы, панели и другие структурные элементы различных конфигураций могут быть изготовлены намного проще, быстрее и качественнее. Чтобы построить любую конструкцию, достаточно просто смоделировать объект и нажать кнопку принтера. Остальное техника сделает сама.

Таблица 1

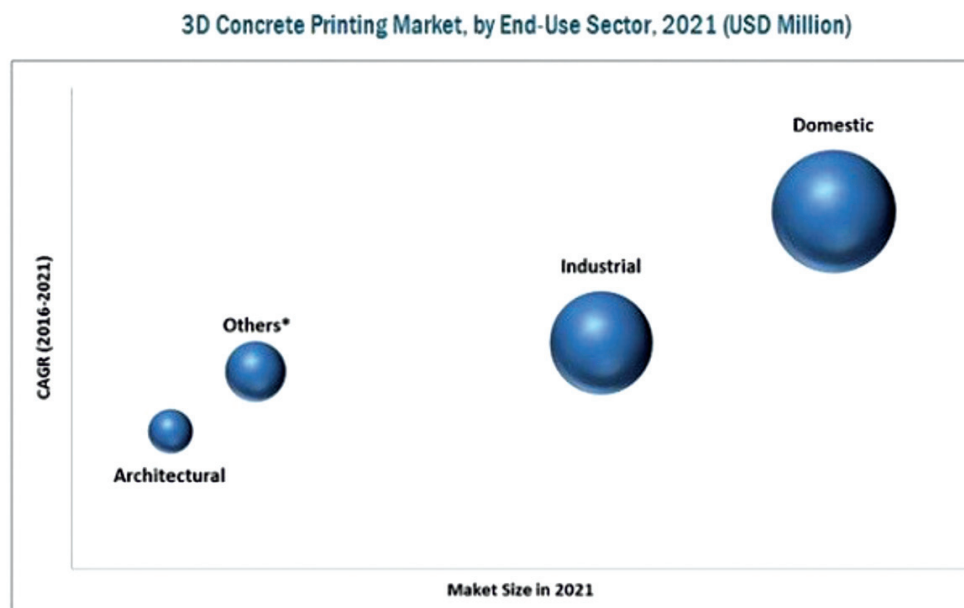
Основные методы аддитивного производства

Метод	Технология	Используемые материалы
Экструзионный	Моделирование методом послойного наплавления (FDM или FFF)	Термопластики (такие как полилактид (PLA), акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и др.)
Проволочный	Производство произвольных форм электронно-лучевой плавкой (EBF3)	Практически любые металлические сплавы
Порошковый	Прямое лазерное спекание металлов (DMLS)	Практически любые металлические сплавы
	Электронно-лучевая плавка (EBM)	Титановые сплавы
	Выборочная лазерная плавка (SLM)	Титановые сплавы, кобальт-хромовые сплавы, нержавеющая сталь, алюминий
	Выборочное тепловое спекание (SHS)	Порошковые термопластики
	Выборочное лазерное спекание (SLS)	Термопластики, металлические порошки, керамические порошки
Струйный	Струйная трехмерная печать (3DP)	Гипс, пластики, металлические порошки, песчаные смеси
Ламинирование	Изготовление объектов методом ламинирования (LOM)	Бумага, металлическая фольга, пластиковая пленка
Полимеризация	Стереолитография (SLA)	Фотополимеры
	Цифровая светодиодная проекция (DLP)	Фотополимеры

Таблица 2

Доля аддитивного производства в ведущих странах мира

Место	Страна	Доля оборудования, %	Место	Страна	Доля оборудования, %
1	США	38,0	9	Канада	1,9
2	Япония	9,7	10	Тайвань	1,5
3	Германия	9,4	11	Россия	1,4
4	Китай	8,7		Турция	1,4
5	Великобритания	4,2	12	Испания	1,3
6	Италия	3,8	13	Швеция	1,2
7	Франция	3,2	14	Другие страны	12
8	Республика Корея	2,3	Составлено по данным [5]		



*Others include sports, education, and healthcare.

Source: Expert Interviews and MarketsandMarkets Analysis

Отчёт MarketsandMarkets подтверждает, что потенциал аддитивных технологий в строительстве действительно огромен. Согласно представленной информации, трёхмерная печать даёт возможность сэкономить около 30-60% расходных материалов, в более чем два раза сократить время процесса строительства, а также на 50-80% снизить издержки на рабочую силу.

Чтобы вычислить объём рынка к 2021 году, эксперты проанализировали мировую статистику продаж и пообщались с директорами ведущих компаний отрасли. Стало известно, что, несмотря на мировую тенденцию к внедрению аддитивных технологий, главную роль в популяризации инновационного метода строительства играет Азиатско-Тихоокеанский регион. Подобная тенденция не случайна, ведь именно Китай и Индия имеют проблемы с постоянным приростом населения.

Среди известных во всём мире компаний, которые применяют аддитивные технологии в строительстве, можно выделить голландскую фирму DUS Architects, британскую Fosters + Partners и китайскую WinSunGlobal. Кроме того, новой технологией возведения зданий активно интересуются французы из LafargeHolcim и британские организации Carillon PLC, BalfourBeatty PLC и KierGroup PLC.

Специалисты говорят, что значительно вырастет доля каждого сегмента рынка 3D-печати бетоном, будь то бытовое, архитектурное или промышленное строитель-

ство. В частности, ещё с прошлого года за счёт инвестиций и роста темпов урбанизации аддитивные технологии стали активнее применяться для возведения жилых и коммерческих зданий.

Основываясь на результатах анализа развития и совершенствования бетонов и конструкций, следует отметить, что фибробетон является, одним из перспективных строительных материалов XXI-го века. Первый в мире патент на фибробетонную конструкцию, был получен российским ученым Некрасовым В.П. в 1909 году, а широкое развитие, исследования по разработке фибробетонов и методов расчета конструкций из них получили с 60-х годов XX-го века.

Фибробетон отличается от традиционного, более высокими показателями прочности на растяжение, изгиб, срез, ударной и усталостной прочностью, трещиностойкостью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, жаропрочностью и жаростойкостью. По показателю работы разрушения фибробетон до 20-ти раз может превосходить обычный бетон. Все это обеспечивает его высокую технико-экономическую эффективность.

Для данного исследования разработали смесь с фиброволокном и минеральными добавками. После серии экспериментов остановились на подходящих пропорциях. Смесь получилась достаточно пластичной и прочной – способной выдержать 2 десятка слоёв при непрерывной печати.

Можно сказать, что фибробетон обладает повышенной прочностью к нагрузкам, не усаживается и не образует трещин во время службы. Наиболее примечательные его качества – длительный срок эксплуатации, плотность и стойкость к износу. Кроме того, фибробетон не теряет свойства под действием низких температур, влаги и огня.

В своём исследовании удалось выявить, что мешает повсеместному внедрению аддитивного метода строительства. Оказалось, что главными проблемами являются недостаточная информированность о новой технологии и необходимость вложить значительную сумму средств, чтобы внедрить данную технологию.

Список литературы

1. Клюев А.В., Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 4. – С. 67 – 72.
2. Уваров В.А., Клюев С.В., Орехова Т.Н., Клюев А.В., Дураченко А.В. Получение высококачественного фибробетона с использованием противоточного пневмосмесителя // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 8. – С. 54 – 56.
3. Клюев С.В., Авилова Е.Н. Мелкозернистый фибробетон с использованием полипропиленового волокна для покрытия автомобильных дорог // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 1. – С. 37 – 40.
4. Клюев С.В., Авилова Е.Н. Бетон для строительства оснований автомобильных дорог на основе сланцевого щебня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 2. – С. 38 – 41.
5. Клюев С.В., Клюев А.В. Исследование физико-механических свойств композиционных вяжущих // Успехи современной науки. – 2015. – № 1. – С. 21 – 24.
6. Клюев С.В., Клюев А.В. Техногенное сырьё – эффективный заполнитель для фибробетонов // Успехи современной науки. – 2015. – № 1. – С. 33 – 35.
7. Клюев С.В. Высокопрочный сталефибробетон на техногенных песках КМА // Технологии бетонов. – 2012. – № 5 – 6. – С. 33 – 35.
8. Клюев С.В. Применение композиционных вяжущих для производства фибробетонов // Технологии бетонов. – 2012. – № 1 – 2 (66 – 67). – С. 56 – 57.
9. Клюев С.В., Гурьянов Ю.В. Внешнее армирование изгибаемых фибробетонных изделий углеволокном // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 1(36). – С. 21 – 26.
10. Клюев С.В. Основы конструктивной организации природных и искусственных материалов // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: сб. студ. докл. Международного конгресса: В 2 ч. Ч. 1. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. – С. 161 – 163.
11. Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В., Пикалова Е.К. Фиброармированные композиты на техногенном сырьё // Сборник научных трудов Sworld. – 2014. – Т. 19. – С. 34 – 36.
12. Клюев С.В. Усиление и восстановление конструкций с использованием композитов на основе углеволокна // Бетон и железобетон. – 2012. – № 3. – С. 23 – 26.
13. Клюев С.В. Высокопрочный мелкозернистый фибробетон на техногенном сырьё и композиционных вяжущих с использованием нанодисперсного порошка // Бетон и железобетон. – 2014. – № 4. – С. 14 – 16.
14. Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В., Пикалова Е.К. Монолитный фибробетон для полов промышленных зданий // Сборник научных трудов Sworld. – 2014. – Т. 19. – № 1. – С. 29 – 32.
15. Клюев С.В. Разработка дисперсно-армированного мелкозернистого бетона на основе техногенного песка и композиционного вяжущего // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – Т. 11. Ч. 2. – С. 27 – 29.
16. Клюев С.В. Высококачественный фибробетон для монолитного строительства // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – Ч. 2. – С. 29 – 32.
17. Клюев С.В. Сталефибробетон на основе композиционного вяжущего // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 3. – С. 32 – 36.
18. Клюев С.В. Фибробетон для каркасного строительства // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 3. – С. 37 – 38.
19. Клюев А.В., Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 4. – С. 67 – 72.
20. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование стержневых систем при силовых и температурных воздействиях с учетом безопасной устойчивости // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 1. – С. 30 – 31.
21. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование стержневых конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2009. – № 3. – С. 31 – 36.
22. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование стержневых систем на основе энергетического критерия при силовых и температурных воздействиях с учетом безопасной устойчивости // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 1. – С. 60 – 63.
23. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование конструкций с учетом устойчивости равновесия // Фундаментальные исследования. – 2008. – № 9. – С. 62.
24. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование строительных конструкций на основе эволюционных и генетических алгоритмов: монография. Germany. 2011. – 128 с.
25. Клюев С.В., Клюев А.В. Управление проектными параметрами в задачах оптимального проектирования // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2010. – № 1. – С. 15 – 19.
26. Клюев С.В. Усиление и восстановление конструкций с использованием композитов на основе углеволокна // Бетон и железобетон. – 2012. – № 3. – С. 23.
27. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование стержневой пространственной конструкции // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2007. – № 1 (7). – С. 17 – 22.
28. Абсиметов В.Э., Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование динамически нагруженных стержневых систем // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 3-4. – С. 100 – 105.
29. Юрьев А.Г., Клюев С.В., Клюев А.В. Устойчивость равновесия в природе и технике // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2007. – № 3. – С. 60.
30. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование конструкций с учетом их устойчивости: монография. Germany. 2011. – 141 с.
31. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование конструкций башенного типа: монография Germany. 2011. – 152 с.
32. Клюев С.В. Особенности формирования фибробетонных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 5. – С. 32 – 35.
33. Клюев С.В., Клюев А.В. Пределы идентификации природных и инженерных систем // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12-2. – С. 366 – 367.