

3. Левенсон С. Я., Ланцевич М. А., Гендлина Л. И., Акишев А.Н. Новая технология и оборудование для безвзрывного формирования рабочей зоны глубоких карьеров // ФТПРПИ. – 2016. – № 5. – С. 125 – 132.
4. Маттис А.Р., Ческидов В.И., Яковлев В.Л. и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых / отв. ред. В.Н. Опарин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 336 с.
5. Ржевский В.В., Трубецкой К.Н. Задачи горной науки в области открытой разработки месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. – 1988. – № 1. – С. 21 – 23.
6. Сердцева Ж.В. и др. Об ударном разрушении пород средней прочности // Сб. трудов II международной конференции "Динамика и прочность горных машин". – г. Новосибирск, ИГД СО РАН, 2003. – С. 83 – 87.
7. Шлойдо Г.А. Рыхлители с активным рабочим органом фирмы Катерпиллер // Строительные и дорожные машины. – 1991. – № 1 – С. 8 – 10.

### **СТРОИТЕЛЬСТВО МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ**

**Р.Р. Хайруллин**

Научный руководитель - доцент К.К. Манабаев.

*Национальный исследовательский Томский Политехнический университет, г. Томск, Россия*

Строительство сооружений аддитивными методами занимает умы специалистов уже несколько десятков лет. Применение принтеров объемной печати в строительстве – весьма перспективная сфера деятельности. Следует отметить, что в настоящее время единственной полностью не автоматизированной отраслью производства является именно строительство. Применять строительный 3D-принтер можно в широких кругах: от создания небольших конструкций вроде строительных блоков, вазонов, скамеек до крупных строительных конструкций. 3D-печать бетоном будет также полезна для строительства домов в местностях, пострадавших от стихийных бедствий, в бедных развивающихся странах и во всех других случаях, когда требуется за короткое время обеспечить жильём большое количество людей.

3D-печать позволяет получать изделия различных сложных форм с минимальными временными и материальными затратами. Применение 3D-принтеров в строительстве позволит отойти от традиционных форм зданий и создавать дома неправильной формы, с изогнутыми контурами и линиями. Автоматизация ручного труда позволит сократить численность строительных рабочих и минимизировать риск производственных травм.

В настоящее время известно о существовании двух видов конструкций 3D-принтеров – в виде мостового крана и в виде стрелы-манипулятора. Строительный 3D-принтер имеет сопло, или экструдер, и выдавливает из него рабочую смесь. Поверхность, на которой создается объемное изделие, называется рабочей зоной и имеет размеры, задаваемые величиной хода сопла, причем опалубки не требуется. Другими словами, строительная машина объемной печати – самодостаточный механизм, который способен создать готовое здание, используя электроэнергию. Основными составляющими 3D-машины являются рама, на которой смонтировано устройство, перемещающееся линейно в плане по направляющим, установленным вдоль здания, а также устройства для передвижения сопла и поднятия конструкции принтера. Таким образом, движение осуществляется в трех взаимно перпендикулярных направлениях – по осям x, y, z.

Сама система для печати с помощью 3D-принтера содержит следующие элементы:

- систему движения (козловые краны или роботизированный манипулятор);
- систему экструзии (печатающая головка с насадкой);
- портативную смесительную установку (просеивание и смешивание компонентов);
- систему накачки (контролируется электроникой);
- блок управления (электроника, позиционирование и система управления);
- систему мониторинга (камеры/мониторы слежения за процессом печати);
- систему безопасности (автоматически выключает систему при необходимости).

В основу принципа работы 3D принтера заложен принцип постепенного (последнего) создания твердой модели, которая как бы «выращивается» из определённого материала. Как известно, главное отличие 3D D-принтера от любого другого промышленного робота заключается в способе создания продукции [1,2]. В частности, строительный 3D D-принтер имеет сопло или экструдер и выдавливает из него быстротвердеющую рабочую смесь. Поверхность, на которой создается объемное изделие (рабочая зона), имеет размеры, задаваемые величиной хода сопла. При этом возведение опалубки не требуется. То есть, строительная машина объемной печати декларируется как самодостаточный механизм, способный, при подключении электроэнергии, буквально на голом месте создать готовое здание.

Известно о трех способах создания объемной конструкции:

*Таблица 1*

*Основные методы 3D-печати*

Метод спекания (селективное спекание)	Метод послойного экструдирования рабочей смеси	Метод напыления (компонентной склейки, стереолитография)
--	---	--

Из перечисленных способов формирования объема, внимание строителей привлекает в первую очередь, метод послойного экструдирования во многом потому, что уже сейчас созданы достаточно большие несущие поверхности и даже настоящие дома. В этом случае из рабочего «сопла» выдавливается, подобно зубной пасте из тюбика, «сметанообразная смесь» бетона с добавками [5].

Особенность технологии заключается в подключении дополнительного инструмента машины — манипулятора устанавливающего в проектное положение несущие и поддерживающие элементы конструкции, инженерные коммуникации (перемычки, балки перекрытия/покрытия, элементы стропильной конструкции, лотки, дымоходы, вент. каналы и т.д.). Строительный материал для возведения несущих элементов конструкции (стен, перекрытий) это быстротвердеющий реакционно-порошковый бетон, армированный стальной или полимерной микрофиброй. Особенность реакционно-порошкового бетона является отсутствие крупного заполнителя без потери в соотношении вяжущая/твердая составляющая, а также высочайшие эксплуатационные характеристики. Так же может быть использованы более дешевые виды бетонов, такие как мелкозернистый и песчаный бетон, модифицированный добавками. Преимущество технологии заключается в скорости строительства – машина может построить за 24 часа жилой дом площадью 150 м<sup>2</sup>.

Но вместе и с положительными сторонами имеется множество тонких вопросов, касающихся самой технологии возведения зданий. В частности, 3D-принтеры строят дома путем нанесения слоя бетонной смеси на ранее выложенный слой [4]. При этом ничего не говорится о применении в строительстве арматуры – вертикальная арматура просто помещает принтеру свободно перемещаться над слоями на нужной высоте [3].

Гораздо больше вопросов вызывают состав рабочей смеси. Как ни странно, к бетонам для печати нет смысла предъявлять особые требования по прочности. То, что печатает принтер – всего лишь несъемная опалубка – внешняя оболочка, которая в большинстве случаев должна быть всего лишь достаточно влагонепроницаемой. Но также рабочая смесь должна обладать тиксотропными и адгезионными свойствами, она должна быть удобоукладываемой принтером и в то же время не растекаться под воздействием последующих слоев.

Каждый разработчик 3D-принтера представляет свою смесь, не раскрывая ее состава. Одни указывают, что новый раствор обеспечивает 95% от прочности обычного бетона, но при этом обладает нужной вязкостью и пластичностью, для сохранения заданной формы в процессе печати. Другие в качестве материала предлагают использовать смесь, состоящую из цемента, стеклопластика, песка, специального отвердителя и стекловолокна, выполняющего роль арматуры [6]. Третьи в качестве расходного материала используют различные каменные породы, измельченные до консистенции песка, а «склеивание» материала осуществляется с помощью специального раствора [7]. Часто для производства такого «бетона» широко применяют строительные и промышленные отходы, а для усиления конструкции – стекловолокно, базальт и даже волокна конопли. Однако «печатный материал» не ограничивается только композициями на основе цемента. Для строительства домов предлагают использовать глинистый раствор – смесь глины, песка и натуральных волокон; смесь водостойкого гипсового вяжущего с измельченными отходами полимеров, картона, стекла и бумаги.

#### Литература

1. Кулебякин А.А. Новые технологии. Развитие 3D-печати: перспективы и последствия // Молодеж. науч.-техн. вестник. – 2015. – № 3.
2. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Воронцов Р.В. Материалы, доступные в рамках различных технологий 3D-печати // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 5.
3. Обзорная статья по 3D-строительным технологиям [Электронный ресурс]. – URL: <http://geektimes.ru/post/224299>
4. Печать домов на 3D-принтере [Электронный ресурс]. – URL: <http://make-3d.ru/articles/3d-printer-dlya-pechatidomov>
5. Рудяк К.А., Чернышев Ю.О. Возведение зданий методом послойного экструдирования // Современные концепции развития науки: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Казань, 2016. – С. 147–151.
6. Светашков А.А. и др. Об одной модификации эффективных модулей двухкомпонентного изотропного композита [Электронный ресурс] // Известия вузов. Физика научный журнал: . — 2013 . — Т. 56, № 7-3 . — [С. 209-211].
7. Светашков А.А. и др. Модификации эффективных модулей типа Хашина–Штрикмана для двухкомпонентного изотропного композита = Modification of effective moduli of Hashin-Shtrikman type for two-component isotropic composite [Электронный ресурс] // Физическая мезомеханика / Российская академия наук (РАН), Сибирское отделение (СО), Институт физики прочности и материаловедения (ИФПМ) . — 2015 . — Т. 18, № 6 . — [С. 57-65].

### **ЗАПОРНАЯ АРМАТУРА ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ. ПОДЗЕМНЫЙ ШАРОВОЙ КРАН. УСТРОЙСТВО, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, СИСТЕМА СМАЗКИ И.С. Хорохордин**

Научный руководитель - доцент К.К. Манабаев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**Введение.** Многолетний опыт эксплуатации запорной арматуры на магистральных газопроводах показывает, что надежное и безопасное ее функционирование в течение всего срока эксплуатации магистрального газопровода возможно только на основе неукоснительного соблюдения норм системы технического обслуживания и ремонта.

Недопущение неустранимой негерметичности по затвору (в противном случае – вырезке крана из газопровода) возможно при его регулярном диагностировании и набивке высоковязкой уплотнительной пасты в уплотнительную систему крана.