

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра технологий и организации строительного производства

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ (ЛЕКЦИОННЫЙ) МАТЕРИАЛ
ЭЛЕКТРОННОГО КУРСА ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ОСНОВЫ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

Авторы: Коротеев Д.Д., Макаров А.Н., Болотова А.С.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	5
1.1. Виды и сущность аддитивных технологий. Основные термины и их определения	5
1.2. История развития технологий аддитивного производства в строительстве	18
1.3. Нормативная документация, регламентирующая применение аддитивных технологий в строительстве	23
1.4. Опыт применения аддитивных технологий при строительстве зданий и сооружений	25
ГЛАВА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	31
2.1. Процесс создания 3D-моделей зданий и сооружения для строительства с применением аддитивных технологий	31
2.2. Особенности объемно-планировочных и конструктивных решений зданий, возводимых с применением аддитивных технологий	33
2.3. Проектирование 3D-модели строительных конструкций и строительных объектов для печати.....	36
2.4. Программы САПР, применяемые для проектирования и строительства с помощью аддитивных технологий	38
ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	43
3.1. Типы и конструктивные особенности 3D-принтеров, применяемых в строительстве	43
3.2. Основные производители 3D-принтеров в России	46
3.3. Основные зарубежные производители 3D-принтеров.....	51
3.4. Материалы, применяемые для 3D-печати строительных конструкций.....	54
3.5. Процесс печати элементов строительных конструкций с помощью 3D-принтера	60
ГЛАВА 4. 3D-ПЕЧАТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ	64
4.1. Методы и виды работ, выполняемых при строительстве зданий и сооружений ..	64
4.2. Подготовительные работы на строительной площадке.....	66
4.3. Строительство подземной части зданий или сооружений	69
4.4. Строительство надземной части зданий или сооружений с применением 3D-печати.....	73
ГЛАВА 5. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПЕЧАТИ	78
5.1. Организация производства элементов строительных конструкций с применением 3D-печати	78

5.2. Транспортные и вспомогательные процессы при строительстве зданий из элементов, изготовленных с применением 3D-печати	81
5.3. Монтаж элементов конструкций в проектное положение на строительной площадке	84
5.4. Обзор зданий, построенных из сборных элементов, изготовленных с применением 3D-печати	89
ГЛАВА 6. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	113
6.1. Требования к организационно-технологическому проектированию строительства объектов с применением аддитивных технологий	94
ГЛАВА 7. ТРЕБОВАНИЯ К КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА РАБОТ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	113
7.1. Входной, операционный и приемочный контроль качества работ, выполненных с помощью аддитивных технологий	113
7.2. Применение цифрового информационного моделирования в строительном контроле	117

ВВЕДЕНИЕ

Современный мир развивается довольно быстрыми темпами, что отражается на автоматизации процессов производства различной продукции практически во всех отраслях промышленности. Строительная отрасль не является исключением в данном вопросе, однако, стоит отметить, что автоматизация в строительной отрасли имеет значительно меньшую долю, чем в других отраслях. Это связано с особенностями изготовления строительной продукции, а именно, с необходимостью выполнения значительной доли работ на строительной площадке, где мы сталкиваемся со значительными сложностями их автоматизации.

На сегодняшний день тенденции развития прогрессивных производственных технологий направлены в сторону перехода к непрерывным (поточным) производственным процессам, внедрения безотходных технологических циклов в составе производства и повышения наукоемкости технологий. Таким образом, можно получить наиболее эффективные, экономичные и экологичные производственные технологии. Перспективным направлением на сегодняшний день являются аддитивные технологии, с их помощью можно существенно сократить время производственного цикла, повысить производительность труда, снизить материалоемкость продукции, потребление энергоресурсов и обеспечить выпуск изделий с улучшенными свойствами и сложных конструкций, которые ранее не представлялось возможным производить из-за технологических ограничений.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1.1. Виды и сущность аддитивных технологий. Основные термины и их определения

Аддитивные технологии (*от англ. Additive Manufacturing*) – обобщенное название технологий, изготавливающих изделия по виртуальной трёхмерной модели с помощью добавления материала. Аддитивный – значит полученный путем сложения. Аддитивный способ позволяет, постепенно добавляя материалы, наращивать необходимую форму для производства чего-либо. Разговорным названием аддитивных технологий принято считать термин «3D-печать».

Трёхмерная или 3D-печать представляет собой послойное создание физического объекта по данным САD-модели (цифровой). Для печати используется специальное приспособление – 3D-принтер. Такое устройство в отличие от обычного принтера позволяет выводить трёхмерные данные, то есть информацию сразу в трех измерениях по принципу поэтапного наращивания физической модели, как правило, снизу-вверх.

Особенности технологического процесса 3D-печати напрямую зависят от технологии аддитивного производства, лежащей в основе этого процесса. Методы и технологии, применяемые сегодня в трёхмерной печати, классифицированы и представлены в виде диаграммы на рис. 1.1. Основными отличиями методов 3D-печати между собой являются лежащие в их основе принципы, это и используемый материал, и условия применимости, а также форма и функциональное назначение изделий, получаемых с их помощью. Для понимания сути аддитивного производства стоит рассмотреть каждый из методов отдельно.

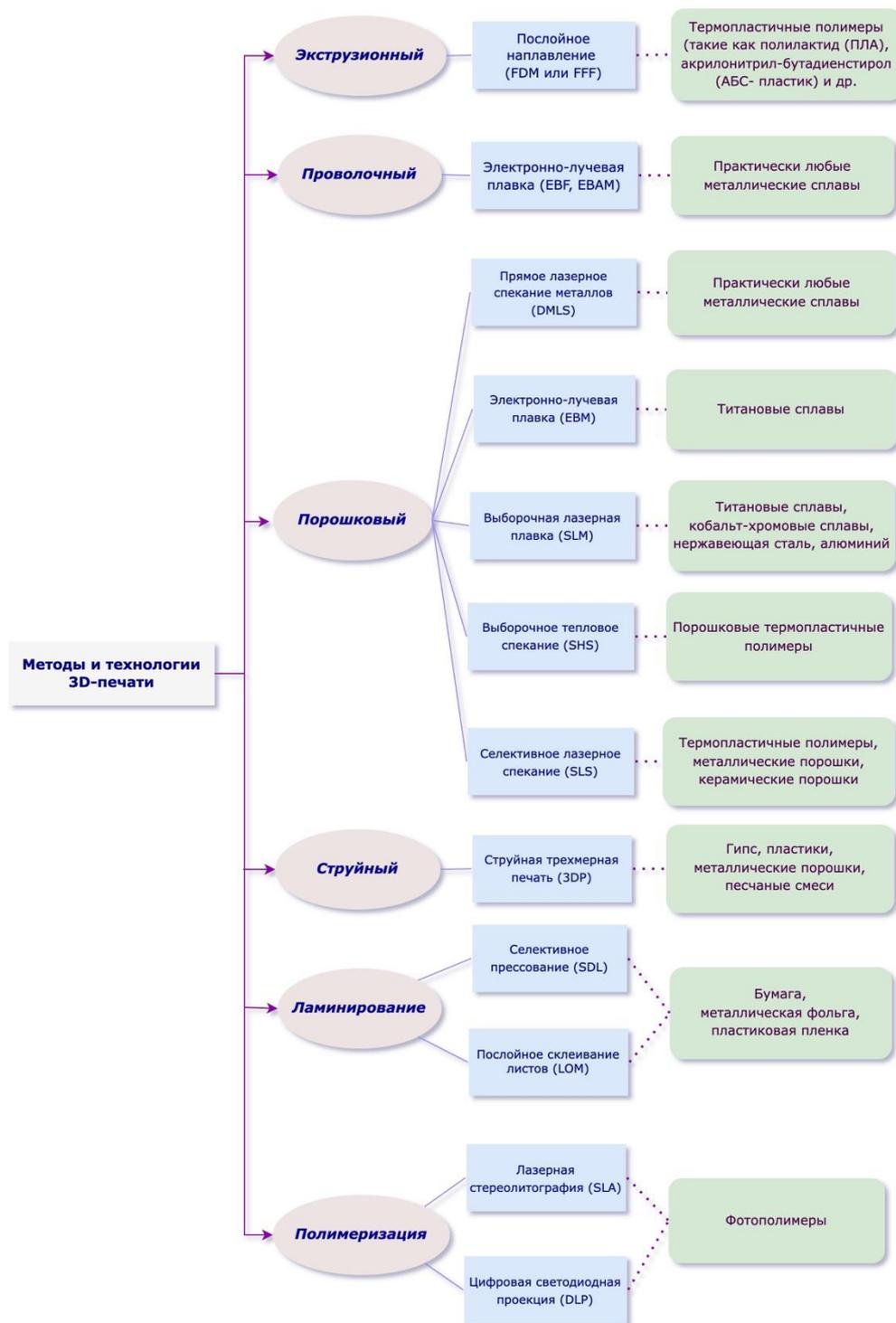


Рис. 1.1. Методы и технологии, применяемые в трёхмерной печати

Экструзионная 3D-печать

Метод послойного наплавления (*Технология FDM, от англ. Fused Deposition Modeling*) – процесс печати, при котором создание слоев производится за счет экструзии быстро застывающего материала в виде тонких струй или капель. Для формирования деталей заданной формы

используется экструдер, который в свою очередь нагревает материал до температуры плавления и выдавливает расплавленную массу через сопло. Механизм работы экструдера должен обеспечивать перемещение печатающей головки (сопло) в трех плоскостях. Контроль процесса производится с помощью программного обеспечения, привязанного к микроконтроллеру. Общая схема устройства 3D-принтера экструзивного типа представлена на Рис. 1.2.

Экструзионная 3D-печать: Принцип работы

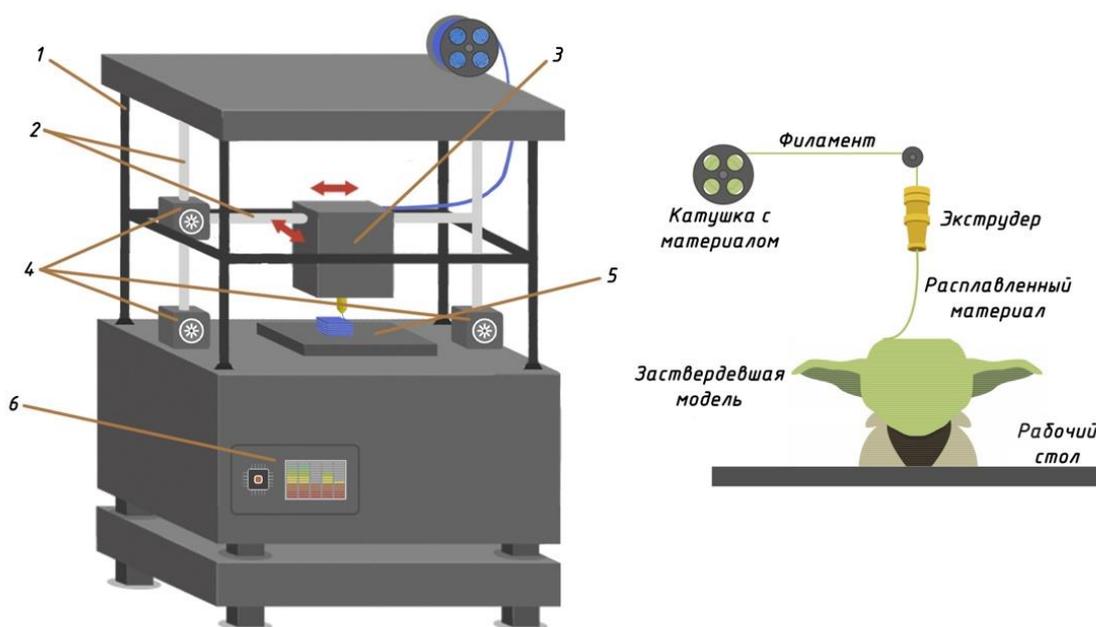


Рис. 1.2. Схема устройства 3D-принтера экструзивного типа:
1 – корпус; 2 – закрепленные на нем направляющие; 3 – печатающая головка;
4 – шаговые двигатели (мотор); 5 – рабочий стол (платформа);
6 – управляющая электроника

3D-печать путем полимеризации светочувствительной смолы

Использование технологии SLA (стереолитография) или DLP (цифровая светодиодная проекция) характерно для 3D-принтеров, которые используют в качестве материала для печати смолу.

Лазерная стереолитография (*Технология SLA, он англ. Laser Stereolithography*) – метод 3D-печати, при котором объект формируется из специального фотополимера (жидкой смолы), затвердевающего под действием лазерного излучения. Источник излучения размещают внизу

(под прозрачным резервуаром с фотополимером), который формирует в зазоре между дном резервуара и предыдущим слоем (или если это первый слой – между дном резервуара и платформой) текущий слой разрабатываемого объекта, после чего платформа с объектом перемещается на толщину одного слоя.

Для изготовления изделий сложной формы большинство 3D-принтеров используют поддерживающие опоры во время печати. Такие поддержки нужны для построения фрагментов модели, не соприкасающихся с нижележащими слоями или рабочей платформой. После завершения печати опоры легко растворить в воде или ацетоне (в зависимости от материала, используемого для создания опор) или отломать (при использовании одинакового материала для печати опор и модели). Общая схема построения изделия по технологии SLA представлена на рис. 1.3.

Лазерная стереолитография (SLA): Принцип работы

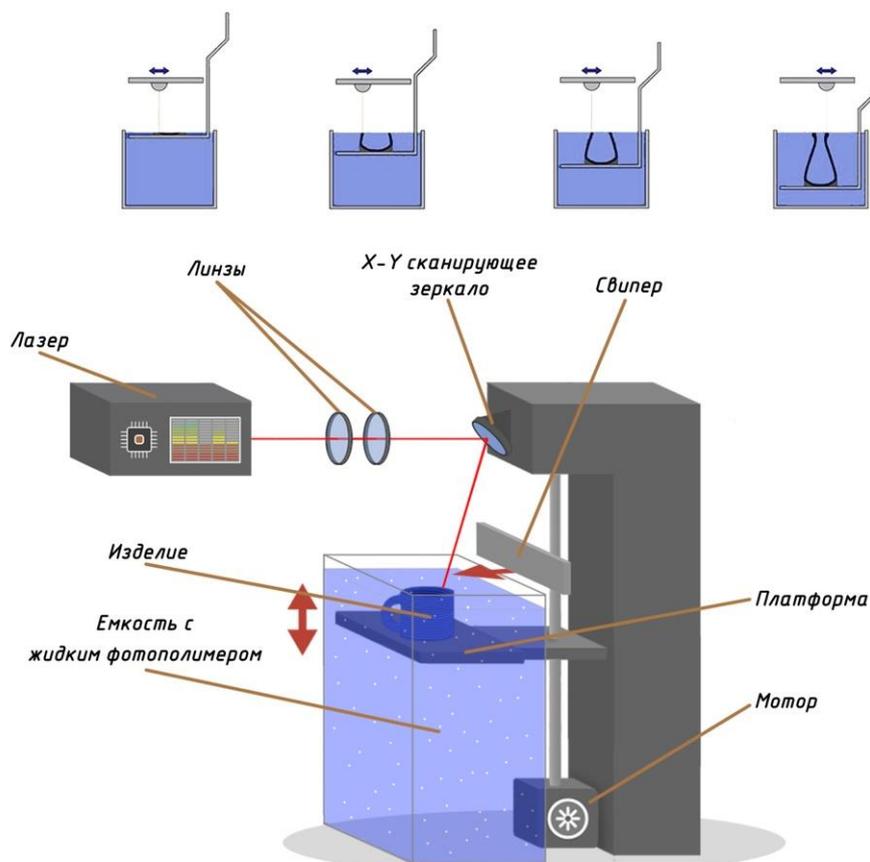


Рис. 1.3. Схема построения изделия по технологии SLA

Этапы технологического процесса лазерной стереолитографии:

1. 3D-модель изделия, разработанная в системе автоматизированного проектирования (CAD), загружается в специальную программу, в которой отображается камера 3D-принтера.

2. В местах, где поверхность детали не соприкасается с нижележащими слоями, необходимо расставить специальные поддерживающие опоры.

3. В ёмкость заливается материал для печати – жидкая фотополимерная смола. Для формирования изделия в жидкий полимер погружают подвижную платформу.

4. Платформа помещается на глубину толщины слоя. Самым минимальным значением, доступным сегодня современным 3D-принтерам, является толщина слоя фотополимера от 0,05 до 0,13 мм.

5. На поверхности фотополимерной смолы с помощью лазерного луча создается первый твердый слой.

6. Новый слой создается при погружении платформы на глубину, соответствующую толщине одного слоя. Далее производится необходимое количество таких циклов до готовности изделия.

7. Готовый объект извлекают из камеры и очищают от остатков фотополимера. Обработку производят специальным спиртовым раствором.

8. Убирают специальные поддерживающие опоры таким образом, чтобы не деформировать поверхность изделия.

9. При необходимости производится дополнительная постобработка (полировка или покраска).

Цифровая светодиодная проекция (*Digital Light Processing, DLP*) – технология цифрового проецирования, основанная на применении микроскопических зеркал (рис. 1.4). В DLP-печати используется проектор, а не ультрафиолетовый лазер, как в SLA. Проектор излучает свет сразу на весь слой смолы с помощью цифровых мельчайших зеркал (*digital micromirror devices, DMD*) при этом избирательно отверждая деталь. В данном случае слой формируется сразу целиком, что позволяет ускорить процесс печати.

Таким образом, полимеризация смолы с помощью технологий SLA и DLP отличается в следующем:

DLP-принтер затвердевает жидкую смолу слой за слоем с помощью проектора для печати.

SLA-принтер затвердевает жидкую смолу точка за точкой с помощью лазера для печати.

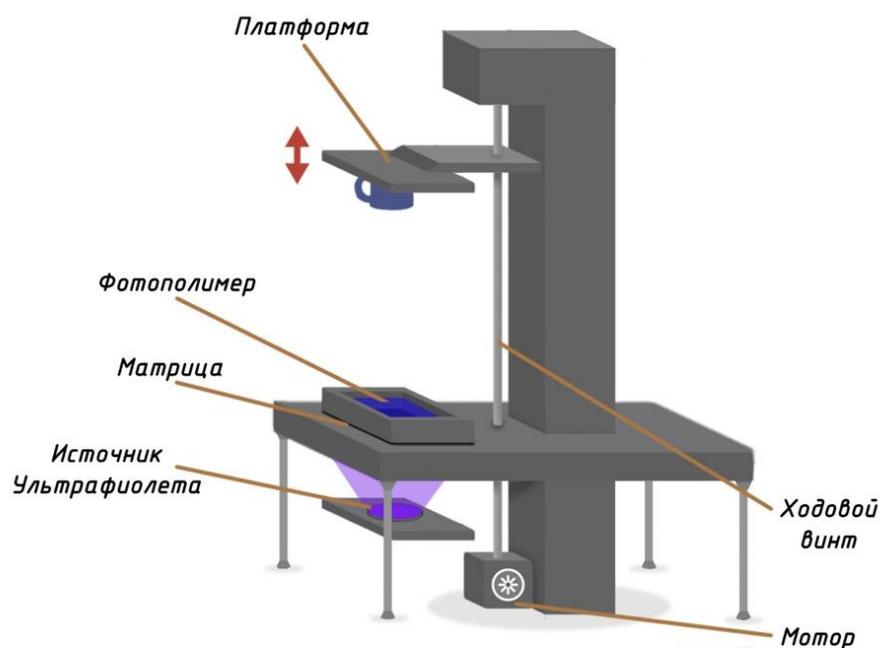


Рис. 1.4. Схема построения изделия по технологии DLP

3D-печать расплавлением порошкового материала

На сегодняшний день существуют две наиболее распространенные системы синтеза на подложке: селективное лазерное спекание (SLS) – это метод на основе пластмассы, и прямое лазерное спекание металлов (DMLS) или селективное лазерное плавление (SLM) – методы на основе металла.

Селективное лазерное спекание порошка (*Технология SLS, англ. Selective Laser Sintering*) – технология послойного аддитивного производства с использованием лазера и порошка в качестве печатного материала (рис. 1.5).

3D-печать расплавлением порошкового материала

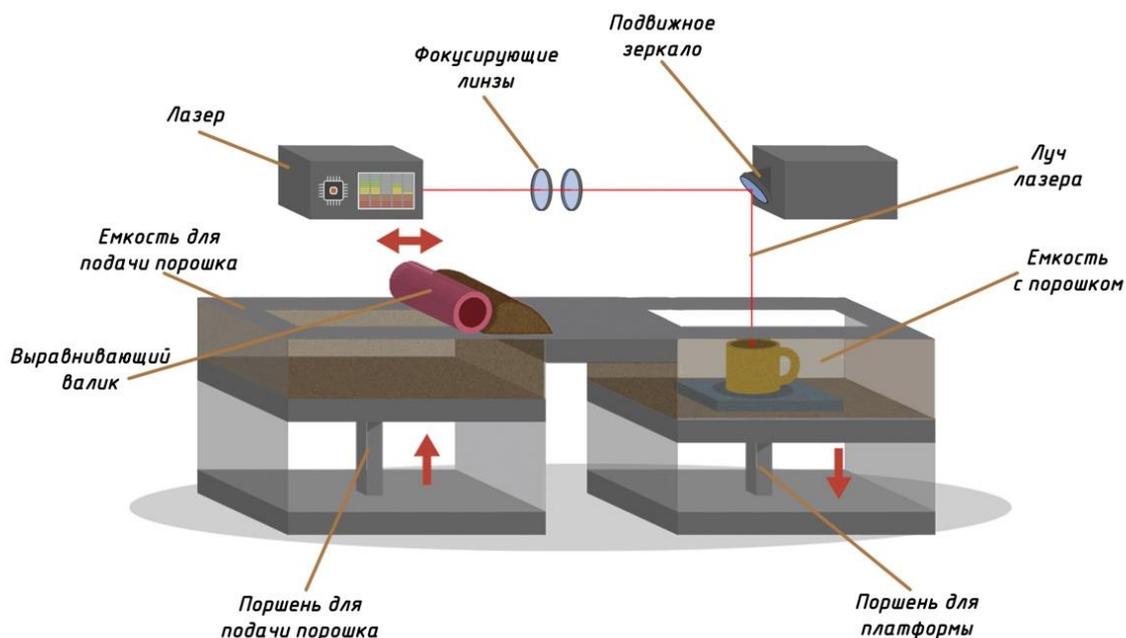


Рис. 1.5. Принцип работы 3D-печати расплавлением порошкового материала

Принцип действия SLS заключается в точечном спекании порошков с разными компонентами лазерным лучом. Порошковые материалы (пластик, металл, керамика) наносятся на поверхность рабочего стола и при помощи лазерного луча запекаются в твёрдый слой, который соответствует сечению 3D-модели. Лазерное спекание может применяться при изготовлении формообразующих для металлического и пластмассового литья. Изделия, полученные данным методом значительно прочнее чем SLA или DLP.

Селективное лазерное плавление металлов (*Технология SLM, англ. Selective Laser Melting*) основана на сплавлении частиц металлического порошка при помощи лазера. В процессе 3D-печати на платформу построения наносится слой металлического порошка толщиной 20-75 мкм (в зависимости от оборудования и материала толщина слоя отличается) и лазером выборочно расплавляется. Далее платформа построения опускается и наносится новый слой металлического порошка. Процесс

проходит в закрытой камере в среде инертных газов (аргон или азот в зависимости от материала).

Основные особенности данной технологии:

- Максимальные габариты детали - 800*400*500 мм;
- Минимальная толщина стенки детали - 0,4 мм;
- Шероховатость боковых поверхностей - Ra12.

Прямое лазерное спекание металлов (*Технология DMLS, англ. Direct Metal Laser Sintering*). Данный процесс основан на спекании лазером металлического порошка заданной геометрии. В рабочую камеру подается порошковый материал в таком количестве, чтобы хватило на один слой. Далее порошок разравнивается по платформе в ровный слой специальным валиком, а лазер (мощность от 200 до 1000 Вт) начинает спекать частицы свежего порошка между собой и с предыдущим слоем согласно координатам цифровой модели. После завершения первого слоя, процесс повторяется: валик подает свежий порошок и лазер начинает спекать следующий слой.

Различия между SLM и DMLS сводятся к методу связывания частиц: в SLM лазер расплавляет металлический порошок, а в DMLS частицы порошка нагреваются меньше и спекаются между собой, не переходя в жидкую фазу. Особенность такой технологии в высоких прочностных параметрах и разрешении печати по сравнению, например, с принтерами экструзивного типа FDM/FFF.

Электронно-лучевая плавка (проволочная)

Проволочное электронно-лучевое аддитивное производство (*Технология EBAM, англ. Wire-feed electron-beam additive manufacturing*) – это метод аддитивного производства, который используется для изготовления крупногабаритных металлических деталей сложной формы. Данный метод основан на применении сфокусированного электронного пучка в условиях вакуума и металлического филамента (проволоки или прутка) в качестве сырьевого материала. Является аналогом технологии

EBF (от англ. Electron-beam freeform fabrication, EBF) электронно-лучевого производства изделий произвольной формы, разработанного NASA.

Электронно-лучевая плавка

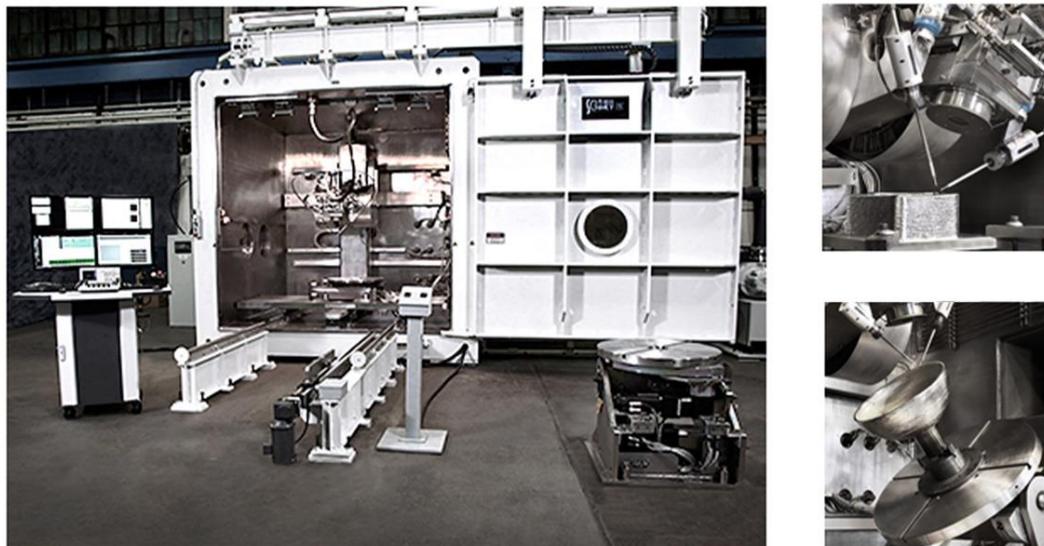


Рис. 1.6. Принцип работы электронно-лучевой плавки

Процесс плавки металла происходит в вакуумной камере с использованием электронных излучателей высокой мощности. Для начала подается расходный материал (проволока практически любого металлического сплава) в точку фокусирования электронного пучка. Он в свою очередь перемещается в пределах рабочей поверхности по координатам САD-модели. Расплавленная металлическая нить мгновенно застывает, формируя при этом прочные слои заданной модели. Данный процесс повторяется до построения готового изделия. При необходимости производится дополнительная обработка внешней поверхности изделия. Метод электронно-лучевой плавки представлен на рис. 1.6.

Струйная трёхмерная печать (*Технология 3DP, англ. Three-Dimensional Printing*). В данной технологии впрыскиваемый материал является связующим веществом, который выборочно распыляется в слой порошкового материала для создания одного слоя. Как и в других методах "порошковой" 3D-печати – после завершения одного слоя, платформа

опускается ниже, а специальный, подающий валик наносит следующий слой порошка, и разглаживает его по поверхности платформы. После того как струйные головки произведут впрыск связующего материала - процесс снова повторится. И так до тех пор, пока 3D объект не будет полностью напечатан (рис. 1.7).

Струйная трехмерная печать (3DP): Принцип работы

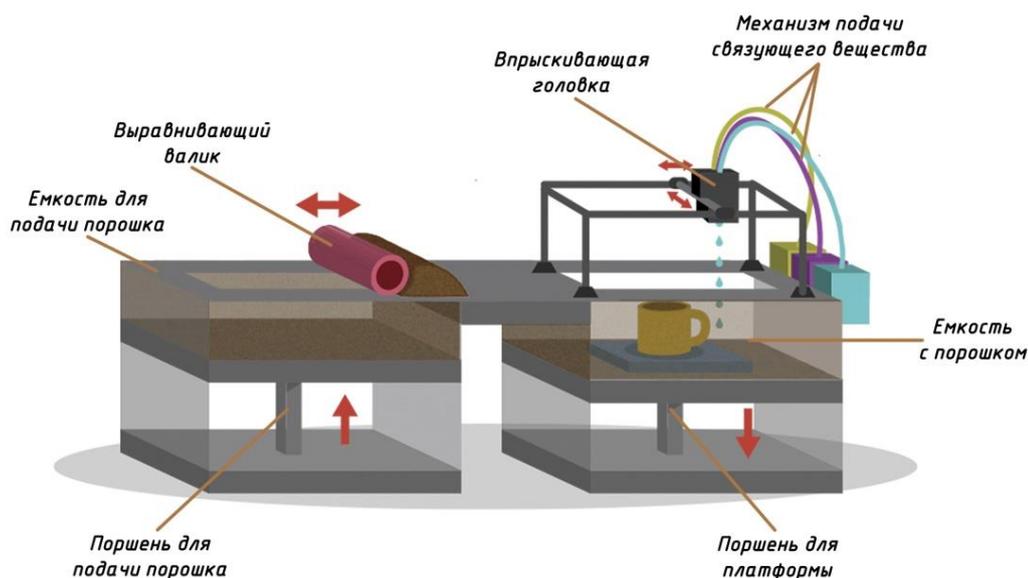


Рис. 1.7. Принцип работы струйной трёхмерной печати

Преимущество данной технологии:

1. Отсутствие необходимости в печати дополнительных поддержек для сложных, геометрических 3D моделей (слой порошка несет функцию поддержки).
2. Можно использовать целый ряд различных материалов печати, например, керамику и даже продукты питания.
3. Возможность печатать полной цветовой палитрой (в связующий материал можно добавить практически любой цвет).

Тем не менее, модели, напечатанные на таком 3D-принтере, получаются менее прочными, чем при технологии лазерного спекания порошков, и требуют последующей обработки для продления долговечности.

Изготовление объектов методом ламинирования (*Технология LOM, англ. Laminated Object Manufacturing*) – технология ламинирования листовых материалов (бумажных, полимерных, металлической фольги) методом послойного склеивания листов с формированием контура каждого слоя за счет механической или лазерной резки. Напечатанный по такой технологии объект подлежит дополнительной постобработке в печи.

Существует также селективное прессование (*Технология SDL, англ. Selective Deposition Lamination*) – способ трехмерной печати на бумаге путем склеивания и прессования листов со специальным клейким покрытием. Данная технология изготовления трехмерных объектов разработана в 2003 году и имеет некоторые сходства с технологией LOM, но по сравнению с ней более совершенна и аккуратна.

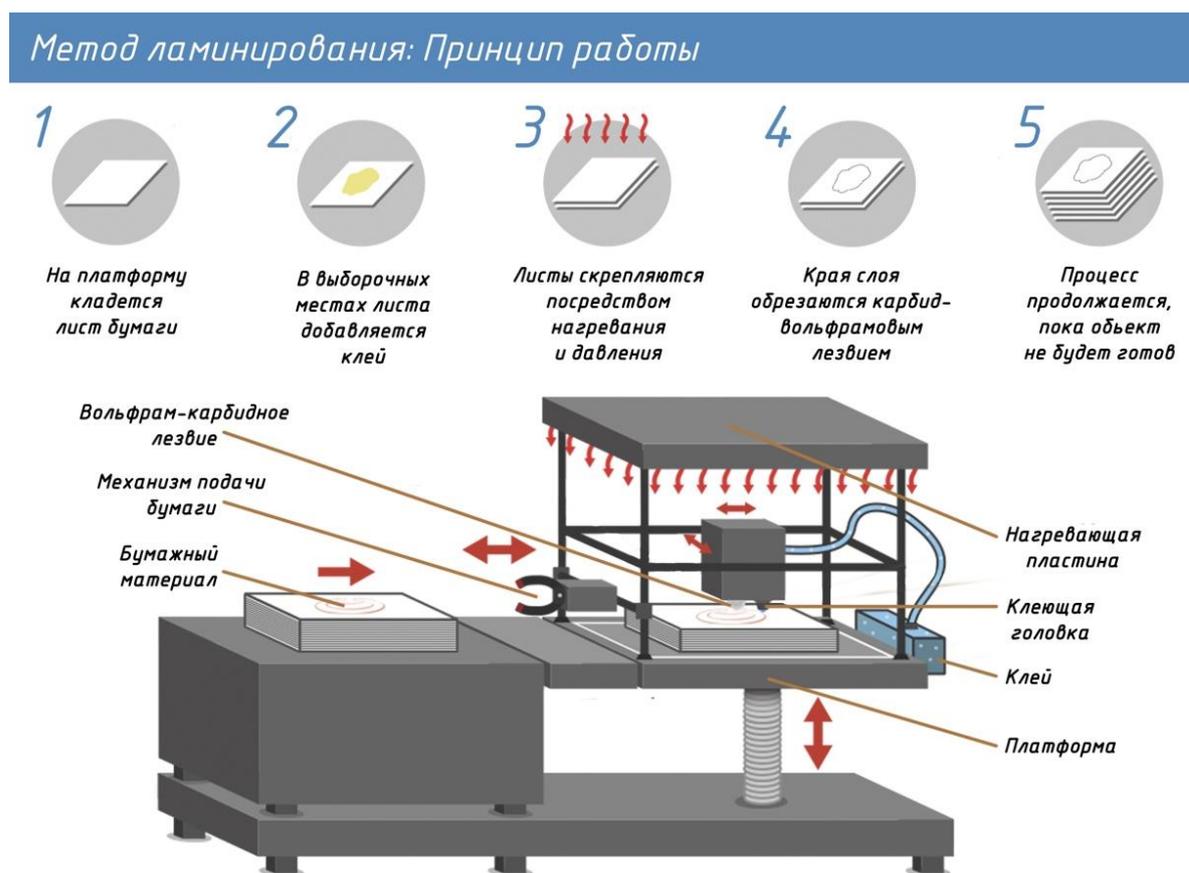


Рис. 1.8. Схема построения изделия методом ламинирования

Процесс печати с использованием данных технологий протекает следующим образом (рис. 1.8):

1. На рабочую платформу наносится первый лист материала с клейким покрытием.
2. Лазер вычерчивает контур слоя по данным CAD-модели. Для простоты удаления лишний материал разрезается лазером на мелкие детали.
3. Готовый слой перемещается вниз на рабочей платформе. В то время как новый лист материала подается в камеру 3D-принтера.
4. Платформа перемещается к нагревательному элементу до контакта с новым листом, под высоким давлением оба слоя прочно склеиваются между собой.
5. Далее производится необходимое количество таких циклов до завершения постройки готового изделия.
6. После построения 3D-модели проводится завершающая механическая обработка изделия (сверление, шлифовка и пр.) и удаляется лишний материал.

К основным особенностям данной технологии можно отнести низкую себестоимость, высокую скорость процесса создания 3D-модели, возможность производства крупногабаритных деталей. Несмотря на то, что метод ламинирования имеет большой плюс в доступности расходных материалов, точность и разрешение печати несколько уступает методам стереолитографии (SLA) или выборочному лазерному спеканию (SLS).

Подведем итоги обзору методов аддитивных технологий (АТ). Пожалуй, главное преимущество АТ в мобильности и минимизации сырья. Цифровую 3D-модель достаточно легко передать по сети на производственную площадку любой точки мира. Расход материала в аддитивном производстве определяется исходя из количества, требуемого для конкретной детали. При традиционных способах изготовления потери сырья могут составлять до 85%. В условиях современности применение аддитивных технологий экологично и экономично.

Отсюда следует еще один ключевой момент – 3D-принтер заменяет огромное количество оборудования и рабочих на обычном заводе. Снижает вес и число комплектующих частей готового изделия, а это важный аспект, например, для авиационной промышленности.

Кроме того, аддитивное производство способно изготавливать объекты любой формы мелкосерийно. Некоторые 3D-принтеры имеют возможность во время одного производственного цикла применять несколько материалов разного цвета. Отсюда особый интерес к аддитивным технологиям медицины и авиационно-космической промышленности.

Аддитивные технологии активно применяются и в таких областях, как архитектура, строительство, дизайн. Технологии аддитивного производства принципиально изменили процессы проектирования и конструирования изделий, превратив их в процессы непрерывного создания изделий. На сегодняшний день перед практиками и исследователями стоит много актуальных вопросов в области производительности аддитивных процессов, точности производимых изделий, а также изучении новых материалов, используемых для изготовления изделий.

1.2. История развития технологий аддитивного производства в строительстве

В строительной отрасли при возведении зданий и сооружений одним из перспективных направлений является 3D-печать строительных конструкций и непосредственно зданий. Её основное преимущество в использовании меньшего количества необходимого персонала и сокращении затрат на материалы.

Первый опыт автоматизации строительства был осуществлен Томасом Эдисоном при создании машины для непрерывного бетонирования зданий, запатентованной в 1917 году. В 1980 годах японские инженеры создали

механизм «The Big Canopy System», который состоял из 13-тонной платформы и конструкции корзинки на зубчатом колесе для вертикальной доставки материалов, а также из автоматизированного мостового крана-балки для горизонтальной доставки конструктивных элементов и для их поворота и передвижения.

В 1981 году Хидео Кодама разработал систему быстрого прототипирования на основе полимеров.

В 1986 году Чак Халл получил первый патент на 3D-печать методом стереолитографии (SLA). Он изобрел 3D-принтер и технологию, которая сделала возможным создание пластикового прототипа за один день.

К 1989 году Карл Декард получил патент на метод селективного лазерного спекания (*Selective Laser Sintering, SLS*) для полимерных материалов. Данная технология была коммерциализирована компаниями DTM и 3D Systems.

В 1992 году Скотт Крамп разработал моделирование методом послойного наплавления (*Fused Deposition Modeling, FDM*), относящееся к процессу подачи материала путем выдавливания.

В 1993 году исследователи из Массачусетского технологического института (MIT) разработали технологию Binder Jetting (технология струйной печати посредством нанесения порошка и плавления его связующим веществом), которая стала называться 3D-печатью.

Технология 3D-печати нашла своё применение в строительной отрасли в конце 1990-х годов. Ранние версии 3D-принтеров, использующих бетон, работали путем выдавливания из установленной на портале головки раствора с малой усадкой, выдерживающего нагрузку от собственного веса. Этот метод аналогичен моделированию методом послойного наплавления.

В 2004 году Берок Хошневис изобрел одну из основных технологий 3D-печати, контурное изготовление (*Contour Crafting*). Именно он одним из первых увидел потенциал аддитивных технологий производства.

Занимаясь научными проектами, связанными с мехатроникой и робототехникой, профессор стремился совместить жилищное строительство и потенциал аддитивных технологий производства.

В процессе контурного изготовления трехмерный объект создается посредством экструдирования (выдавливания) цементной пасты. Контурное изготовление рассматривалось NASA в своей программе NIAC (*The NASA Institute for Advanced Concepts*) для изучения возможности использования данной технологии при строительстве жилья на Луне (*Lunar Settlement Infrastructure*). Профессор Хошневис разработал большой принтер для строительства зданий из бетона путем послойной экструзии цемента, способный напечатать здание площадью 760 м² в течение 20 часов.

С 2005 года в Университете Лафборо в Соединенном Королевстве проводится программа под названием «3D Concrete Printing». Другая команда под руководством доктора Ричарда Бусвелла и профессором Саймоном Остином с 2007 года проводит исследования на использовании 3D-печати в строительной отрасли. Они работают над созданием и внедрением на рынок робота для 3D-печати бетоном, а также помогают разработать систему снабжения необходимыми материалами. За основу ученые из Университета Лафборо взяли метод экструдирования цементной пасты.

В 2010 году итальянский изобретатель и основатель компании «Monolith UK» Энрико Дини разработал большой 3D-принтер под названием D-Shape, который позволил печатать здания произвольной формы. Dini в настоящее время совместно с голландским архитектором Ruijssenaars работает над созданием здания в форме полосы Мёбиуса.

В 2012 году Петр Новиков и его коллеги, архитекторы из Института современной архитектуры Каталонии в Испании, изобрели робота под названием Stone Spray, который может использовать органические материалы в качестве основного материала. Этот робот создает

архитектурные формы путем нанесения смеси грунта и экологически чистого вяжущего с помощью системы струйного распыления.

В 2014 году китайская компания WinSun продемонстрировала как 3D-печать может быть использована на практике, построив 10 домов площадью 195 м² с применением 3D-принтера.

В 2017 году началось производство серии роботизированных принтеров, использующих технологию контурного изготовления, которые были разработаны для легкой и удобной транспортировки. История развития аддитивных технологий в строительстве представлена на рис.1.9.

В последние несколько лет 3D-принтеры развиваются довольно быстрыми темпами. Изучается все большее количество материалов, и они находят свое применение в 3D-печати. Размеры 3D-принтеров также быстро увеличиваются, что делает возможным в ближайшем будущем печатать большие и сложные конструкции.

Принтеры на основе конструкций статических стержневых систем способны с легкостью создавать простые конструкции, но могут использоваться и для более сложных. К примеру, для конструкций с нависающими секциями. При этом они ограничиваются занимаемой площадью портала. Такие системы, как рамные системы трехмерной печати, хорошо подходят для сборных конструкций благодаря своему большому размеру. При этом большие принтеры имеют связанные с транспортировкой и установкой сложности.

За последние несколько лет 3D-печать приобретает все большее значение в производственных процессах по той причине, что она позволяет изготавливать сложные большие конструкции с помощью компьютерного проектирования (САПР). Благодаря наработкам в материалах и технологиях процессов за последние 30 лет была успешно осуществлена коммерческая реализация аддитивной технологии производства.

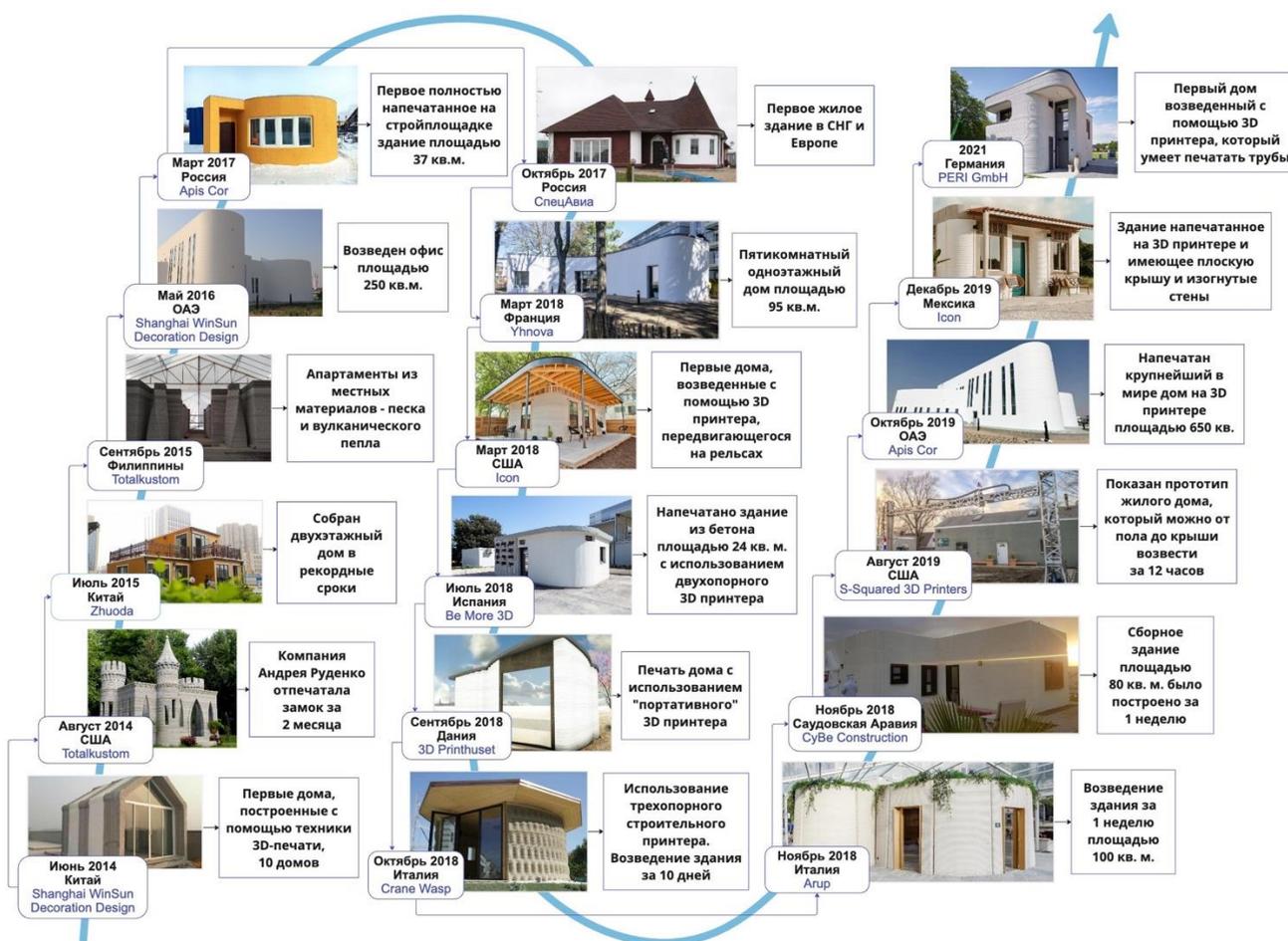


Рис. 1.9. История развития аддитивных технологий в строительстве

Подводя итоги анализа применения 3D-печати в строительстве, мы можем сформулировать основные преимущества и недостатки аддитивных технологий:

Преимущества:

- + Высокая скорость возведения зданий и сооружений;
- + Возможность использования 3D печати в стесненных условиях;
- + Возможность предвидеть влияние определённых конструктивных особенностей, увидев модель своими глазами;
- + Увеличение скорости сдачи объектов;
- + Неограниченные архитектурные возможности;
- + Уменьшение затрат на возведение зданий и сооружений;
- + Уменьшение затрат на логистику;
- + Уменьшение количества необходимого персонала;

- + Сокращение затрат на материалы;
- + Уменьшение расходных материалов;
- + Уменьшение строительных отходов;
- + Уменьшение энергопотребления;
- + Высокая безопасность работников;
- + Возможность строить дома с учетом сейсмоустойчивости в зонах, склонным к землетрясениям и ураганам.

Недостатки:

- Отсутствие нормативной документации (единой нормативной базы);
- Недостаток квалификации персонала;
- Дополнительные требования к строительной площадке;
- Сложность (невозможность) печати горизонтальных конструкций, например, плит перекрытий;
- Ограниченная зона производимых работ;
- Специальные климатические условия;
- Высокая стоимость оборудования (обслуживание, ремонт).

1.3. Нормативная документация, регламентирующая применение аддитивных технологий в строительстве

На сегодняшний день основные направления государственной политики в сфере развития отрасли аддитивных технологий в Российской Федерации определены в Стратегии развития аддитивных технологий в РФ на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2021 г. № 1913-р).

Стратегия направлена на создание конкурентоспособной отрасли аддитивных технологий на основе развития научно-технического и кадрового потенциала, оптимизации производственных мощностей, их модернизации и технического перевооружения, создания новых технологических направлений и технологий, освоения приоритетных

промышленных аддитивных технологий, а также совершенствования нормативно-правовой базы для удовлетворения потребностей государства и иных заказчиков в современной продукции аддитивного производства.

В части ключевого направления «Научно-техническое развитие» планируется разработать и промышленно освоить ключевые аддитивные технологии автоматизированного возведения жилых зданий и других объектов, а также изделий строительного назначения.

В части ключевого направления «Производство» планируется создать: серийное производство оборудования для неразрушающего контроля деталей и изделий, изготовленных на аддитивном оборудовании; серийное производство оборудования для строительной 3D-печати.

В области использования аддитивного производства в строительстве действует следующая документация (проверяйте статус документа на момент прочтения):

ГОСТ Р 59096-2020 «Материалы для аддитивного строительного производства. Методы испытаний».

ГОСТ Р 57586-2017 «Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Общие требования».

ГОСТ Р 57588-2017 «Оборудование для аддитивных технологических процессов. Общие требования».

ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения (Переиздание)».

ГОСТ Р 57589-2017 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы - часть 2. Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования».

ГОСТ Р 57590-2017 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 3. Общие требования».

ПНСТ 495-2020 «Строительные работы и типовые технологические процессы. Аддитивные технологии. Применение трехмерной печати (3D-

печать) в строительстве. Общие требования» (предварительный национальный стандарт действует с 1 января 2021 года по 1 января 2024 года).

Ключевым фактором, останавливающим массовое распространение аддитивных технологий в строительстве, является отсутствие единой нормативной базы. В российской системе нормативно-технического регулирования в строительстве должны появиться документы, регламентирующие вопросы проектирования и строительства с применением аддитивного строительного производства, позволяющие применять эту технологию для объектов различного функционального назначения.

1.4. Опыт применения аддитивных технологий при строительстве зданий и сооружений

Российский рынок аддитивных технологий начал зарождаться в 2010-х годах. Первый пик интереса и активности участников пришелся на 2015-2018 гг. Компания СПЕЦАВИА (г. Ярославль) разработала оборудование, предназначенное для строительной 3D-печати. В 2015 г. был представлен первый порталный малоформатный строительный 3D-принтер.

В 2017 г. был построен первый в Европе и СНГ реальный жилой дом в Ярославле компанией АМТ-СПЕЦАВИА. Строительство дома площадью 298,5 м² началось в 2015 г. Монтаж готовых конструкций, отдельно напечатанных на порталном принтере, занял один месяц. В 2017 г. были завершены работы по устройству кровли и отделочный цикл (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Первый в Европе жилой дом, напечатанный на 3D-принтере в г. Ярославль

В том же году компания APIS COR (г. Иркутск) напечатала офис в г. Ступино. Строительство демонстрационного дома площадью 38 м² производилось при помощи 3D-принтера собственной разработки (рис. 1.11). На возведение стен здания ушло менее суток. Около месяца занял набор прочности материалов и полное их отверждение. Здание напечатано необычной, округлой формы, чтобы показать возможности дизайна и гибкость технологии 3D-печати. Строительный 3D-принтер компании "APIS COR" имеет небольшой вес и достаточно компактный по размеру, что удобно для транспортировки на место строительства (2 т., 4х1,6х1,5 м).



Рис. 1.11. Демонстрационное здание площадью 38 м² в г. Ступино

В 2018 г. итальянская компания WASP (World's Advanced Saving Project) напечатала здание за десять дней в технопарке Шамбала. Особенность дома в его экологичности, от естественной вентиляции и пассивного солнечного нагрева до используемых материалов. Состав для печати был создан на основе отходов от выращивания риса (он на 25% состоял из местной почвы (глина и песок), на 40% – из соломы, еще на 25% – из рисовой шелухи и на 10% – из гидравлической извести). Рабочий материал сельского экоддома – смесь соломы с клеем. Дом небольшой – около 20 м². Печать стен заняла всего 10 дней, в то время как ориентировочная стоимость материалов составляет чуть менее 1000 долларов. Задача проекта – показать, как можно построить экологичный

дом с экономией электроэнергии и минимальными отходами строительных материалов, имея при этом ограниченный бюджет (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Первый 3D-печатный дом из биоразлагаемых материалов, Италия

В 2021 г. введен в эксплуатацию двухэтажный дом, напечатанный на 3D-принтере в Беккуме, Германия. Проект площадью 160 м² осуществлен немецкой строительной компанией PERI GmbH и архитектурно-дизайнерским бюро MENSE-KORTE ingenieure+architekten. Печать дома заняла чуть более 100 часов, для работы использовался модульный 3D-принтер BOD2 фирмы COBOD. Стены здания полые, трехслойные, заполнены изоляционными материалами. В процессе печати конструкций здания вручную производилась установка полых труб и соединений. Особенность данного дома в том, что это первый сертифицированный в соответствии с нормами дом, напечатанный на 3D-принтере (рис. 1.13).

На сегодняшний день самое большое в мире здание, изготовленное при помощи 3D-принтера, построено в Дубае компанией APIS COR. Высота постройки достигает 9,5 м, общая площадь – примерно 6400 м². Стоимость проекта не разглашается. Здание вошло в Книгу рекордов

Гиннеса как самое большое здание, отпечатанное непосредственно на строительной площадке. Двухэтажный офис для одного из госучреждений удалось напечатать за 21 день, на стройплощадке были задействованы всего три специалиста. Таким образом, 3D-печать не только сокращает расходы и время на строительство объекта, но и зависимость от человека (рис. 1.14).



Рис. 1.13. Напечатанный на 3D-принтере сертифицированный дом, Германия



Рис. 1.14. Строительство зданий с применением 3D-печати в г. Дубай

Контрольные вопросы для самопроверки по Главе 1

1. Приведите определение термина «аддитивные технологии».
2. Что такое 3D-принтер, в чем его основные особенности.
3. Приведите развернутые практические примеры применения экструзионной 3D-печати.
4. В чем отличия технологии SLA (стереолитография) и DLP (цифровая светодиодная проекция)?
5. В чем состоит суть 3D-печати расплавлением порошкового материала? Расскажите об основных технологиях, использующих порошок.
6. Опишите суть аддитивного производства методом электронно-лучевой плавки.
7. Достоинства струйной трёхмерной печати.
8. Как происходит изготовление объектов методом ламинирования.
9. Назовите основные этапы развития аддитивных технологий в строительстве.
10. Назовите самых известных ученых, которые занимались или занимаются внедрением аддитивных технологий в строительную отрасль.
11. Назовите основные достоинства и недостатки аддитивных технологий, применяемых в строительстве.
12. Что входит в систему нормативно-технического регулирования аддитивных технологий в строительстве.
13. С чего началась история развития технологий аддитивного производства в строительстве.
14. Приведите примеры объектов, построенных с помощью технологии аддитивного производства.
15. Какие из этих объектов построены в России?

ЛАВА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

2.1. Процесс создания 3D-моделей зданий и сооружений для строительства с применением аддитивных технологий

Аддитивное производство (АП) представляет собой создание какого-либо объемного предмета по заданной графической форме посредством преобразования трехмерного графического изображения в реальный, осязаемый объект, и здесь никак не обойтись без 3D-моделирования.

3D-моделирование – трехмерная графика, которая сочетает в себе множество приемов и инструментов, необходимых для создания объемных предметов в трехмерном пространстве. Создание 3D-модели объекта выполняют с применением технологий 3D-сканирования, 3D САПР-моделирования и технологии реконструкции поверхности объекта.

Процесс 3D-печати включает в себя ряд этапов, отраженных на рис. 2.1. Для начала необходимо создать 3D-модель объекта с применением технологий объемного моделирования (AutoCAD, Fusion360, Tinkercad, Blender, Autodesk 123D и др.). Результатом этого этапа должно стать создание 3D-модели объекта с нуля, или на основе существующего объекта. В некоторых случаях, при отсутствии технической документации на объект, процесс проектирования можно осуществить в обратном направлении, например, с помощью лазерного 3D-сканирования собрать информацию об объекте и разработать по ней техническую документацию.

Далее процесс преобразования 3D-модели в файлы общепринятых форматов (.STL, .FBX, .OBJ, .3DS, DXF-файлы и др.) производят с помощью программ объемного моделирования, которые позволяют выводить файлы в нужных форматах. Дело в том, что не все STL-файлы подходят для печати, 3D-модель должна иметь «герметичную» форму с закрытой монолитной поверхностью без швов и разрывов, которая четко разделяет внутреннюю и внешние части модели.

Процесс нарезки 3D-модели на слои выполняют в специализированном программном обеспечении – слайсер (Cura, Simplify3D, Astroprint, 3DPrinterOS и др.).

После чего файл экспортируется на компьютер в формате .gcode, далее его можно загрузить в 3D-принтер через SD-карту.

Перенос файла в 3D-принтер, в программном обеспечении которого должна содержаться информация по траектории движения печатающей головки на каждом слое.

Перед началом изготовления объекта осуществляется настройка 3D-принтера по массе, объему, масштабу, положению, толщине слоя материала, а также скорости печати и траектории движения печатающей головки сопла.

Создание объекта 3D-принтером осуществляется автоматически после отправки файла формата (STL-файлы, DXF-файлы и пр.) или готового G-кода в 3D-принтер путем выполнения процесса послойного построения объекта согласно 3D-модели объекта.

Участие рабочего в технологическом процессе 3D-печати происходит в автоматизированном режиме, при возникновении сбоев в работе 3D-принтера допускается корректировки параметров печати (скорости, подачи строительной смеси и др.)

После того, как модель была успешно напечатана и завершился процесс застывания, она подвергается тщательному осмотру.

На поверхности могут остаться неровности и прочие дефекты печати, которые следует удалить при дополнительной обработке (окраска, оштукатуривание, грунтование поверхностей и др.).

Итак, процесс создания 3D-модели здания или сооружения для строительства с применением аддитивных технологий завершается контролем качества поверхности модели и принятием решения о её применении.

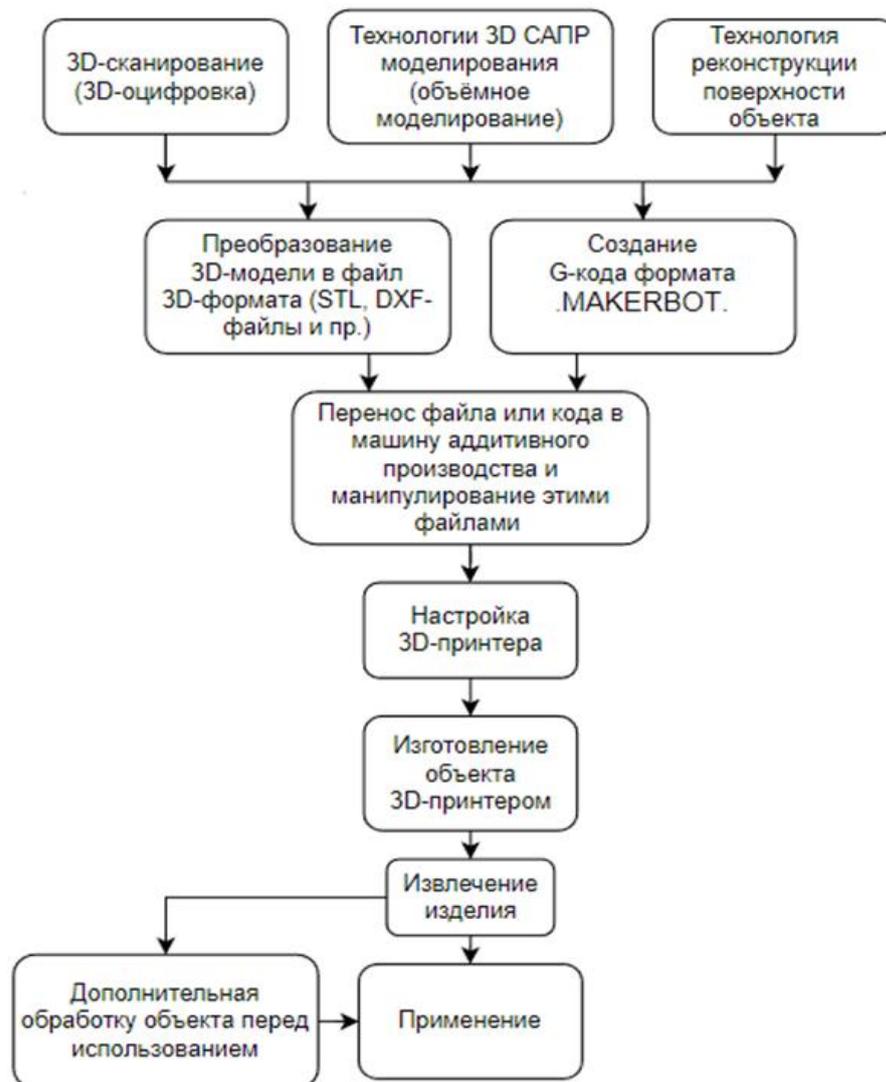


Рис. 2.1. Процесс разработки 3D-модели здания или сооружения для строительства с применением АТ

2.2. Особенности объемно-планировочных и конструктивных решений зданий, возводимых с применением аддитивных технологий

Промышленные объекты, возводимые при помощи АТ, могут иметь как резко выраженный индивидуальный характер, объемно-планировочные и конструктивные решения, которые полностью зависят от особенностей самой технологии, так и могут отличаться многообразием архитектурно-строительных решений, объемно-планировочные и конструктивные решения данных зданий не имеют определенной зависимости от предполагаемого технологического процесса. Объемно-

планировочное решение модуля здания или сооружения, возводимого с помощью АТ может различаться простым строением и при тиражировании могут представлять собой простую геометрическую решетку, либо представленный модуль может иметь сложную криволинейную форму.

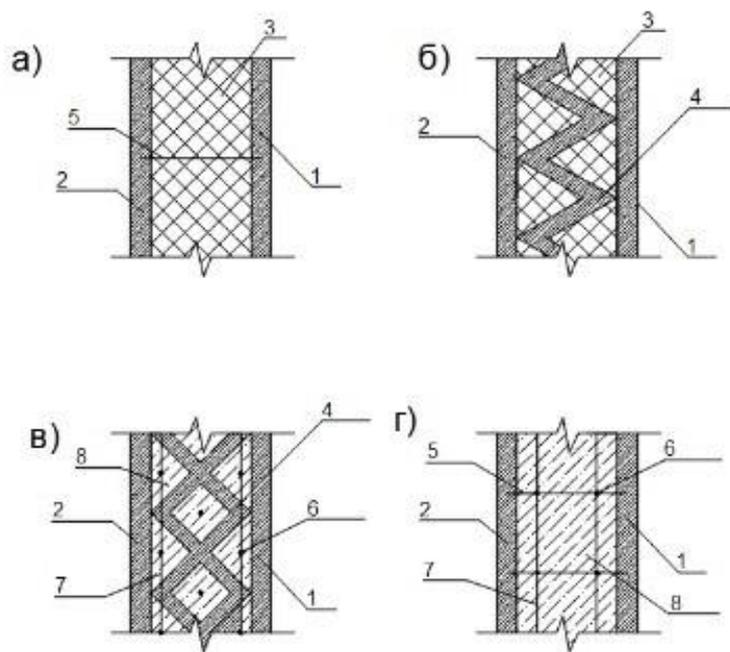
Строение может быть любой формы, так как АТ не имеет ограничений по дизайну возводимого здания. Максимальная этажность для индивидуального малоэтажного строительства – 3. В случае, если необходимо создать конструкцию выше, то надо отдельно «напечатать» дополнительные элементы и установить их на готовую конструкцию. К зданиям и сооружениям, проектируемым в сейсмически опасных районах, предъявляются отдельные требования к этажности и расчету конструкций.

Таким образом, в зависимости от выбранной строительной технологии, здания и сооружения могут быть как сборными, состоящими из отдельных модульных систем, из которых объект «собирается» и монтируется непосредственно на строительной площадке, так и монолитными. При помощи 3D-принтера объект можно целиком напечатать на строительной площадке, поэтому при АТ рационально возведение монолитных конструкций.

Ввиду технологических особенностей строительства, максимальная площадь и этажность здания ограничиваются рабочим полем принтера. Поэтому одной из особенностей объемно-планировочных решений зданий считается отсутствие перепада высот, для нормальной работы строительного принтера он должен составлять не более 10 см, что обусловлено технологическими условиями строительства. Также при применении АТ 3D-печати необходимо учитывать осадочные напряжения, возникающие в бетоне, которые влияют на напряженно-деформированное состояние стен в зданиях и сооружениях. Оно появляется в результате нанесения слоев и зависит от скорости печати и физико-механических характеристик бетонной смеси.

На данном этапе технологии применения строительных 3D-принтеров отрабатываются на одноэтажных зданиях, у которых стены являются основной конструкцией. Толщина стены может быть в диапазоне от 300 до 500 мм. Сама конструкция стены, выполненная при помощи 3D-принтера, представляет собой пространственную ферму с параллельными поясами и раскосами, придающими зданию жесткость. Вопрос армирования может быть решен при помощи ввода дисперсной арматуры (фибры), или при помощи укладки арматурных стержней, кладочной сетки между слоями.

В зависимости от условий эксплуатации и действующей нагрузки предлагается несколько вариантов конструктивного решения стен, схематично представленных на рис. 2.2.



*Рис. 2.2 Варианты конструктивных решений стен здания при 3D-печати
 1 – внутренний слой из бетона; 2 – внешний слой из бетона; 3 – утеплитель;
 4 – диафрагмы из бетона; 5 – поперечная арматура; 6 – вертикальная арматура;
 7 – продольная арматура; 8 – средний слой из легкого бетона*

Анализ технологий и конструктивных решений зданий и сооружений, возводимых при помощи 3D-принтера, позволил выявить с чем связаны основные ограничения 3D-печати: с размером объекта в плане, высотой объекта, размерами, формой и весом конструкций. Поэтому при проектировании и возведении зданий при помощи аддитивных технологий

необходимо учитывать этажность, высоту, конструкцию и форму стен зданий и сооружений.

2.3. Проектирование 3D-модели строительных конструкций и строительных объектов для печати

Проектирование представляет собой комплексный процесс, информационная модель является основанием для разработки проектной документации (ПД), которая в свою очередь должна отражать информацию о технологии 3D-печати. Выбор технологии производства влияет на набор характеристик объекта строительства и отражается в параметрах его информационной модели. Процесс проектирования требует от проектировщика кроме специальных предметных знаний, также знаний методологии, средств и правил выполнения проектных процедур. Для 3D-печати можно проектировать 3D-модели строительных конструкций, а также и строительных объектов в целом.

Готовое изделие, напечатанное на 3D-принтере, должно соответствовать требованиям, изложенным в проектной документации:

- по прочности;
 - высокой однородности и стабильности свойств;
 - низкой плотности и теплопроводности;
 - высокой прочности сцепления;
 - морозостойкости;
 - содержанию вредных примесей;
 - удельной эффективной активности естественных радионуклидов
- и др.

Рассмотрим процесс проектирования 3D-модели объекта строительства с применением аддитивных технологий. Исходные данные основаны на формировании, визуализации и проверке параметров информационной модели объекта капитального строительства, которые необходимо учитывать при проектировании в аддитивном строительстве.

Так как начальный этап разработки объекта при помощи АТ - создание его 3D-модели. Виртуальная модель должна представлять собой прототип будущего здания или сооружения, включать в себя все тонкости проектирования конструкции.

Перед началом проектирования 3D-модели необходимо разработать техническое задание (ТЗ) на проектирование, а следовательно, и выбрать методы производства работ, нужно определить, что печатаем на 3D-принтере, в каком количестве и где. В качестве мест производства можно выбрать завод или строительную площадку. В качестве объекта проектирования 3D-модели строительных конструкций или строительного объекта в целом. Сначала выбрали технологию возведения объекта строительства. Затем определяем параметры элементов информационной модели для 3D-печати. Далее подбираем 3D-принтер по его техническим характеристикам. После чего можно приступать к разработке 3D-модели будущего здания.

Информационное моделирование объекта строительства для 3D-печати можно выполнять с применением технологий 3D-сканирования (оцифровать существующее здание) или используя объёмное моделирование (например, 3D программы Autodesk AutoCAD, Revit и др. для нового объекта). Создание 3D-модели объекта должно быть выполнено с учетом формирования точной 3D-геометрии конструкций и заполнения необходимых параметров соответствующих элементов информационной модели. Автоматизация позволяет визуализировать параметры цифровой информационной модели в форме электронных таблиц (спецификаций) с фильтрацией параметров, связанных с 3D-печатью. На рис. 2.3 представлен общий алгоритм проектирования и подготовки 3D-модели к печати, на практике к каждому объекту создается свой план, включающий все особенности и сложности воссоздания проекта.

Если говорить об индустриальном строительстве, то здесь важным ограничением является отсутствие норм на проектирование и

строительство с применением технологии строительной 3D-печати, что делает затруднительным прохождение экспертизы проектной документации.

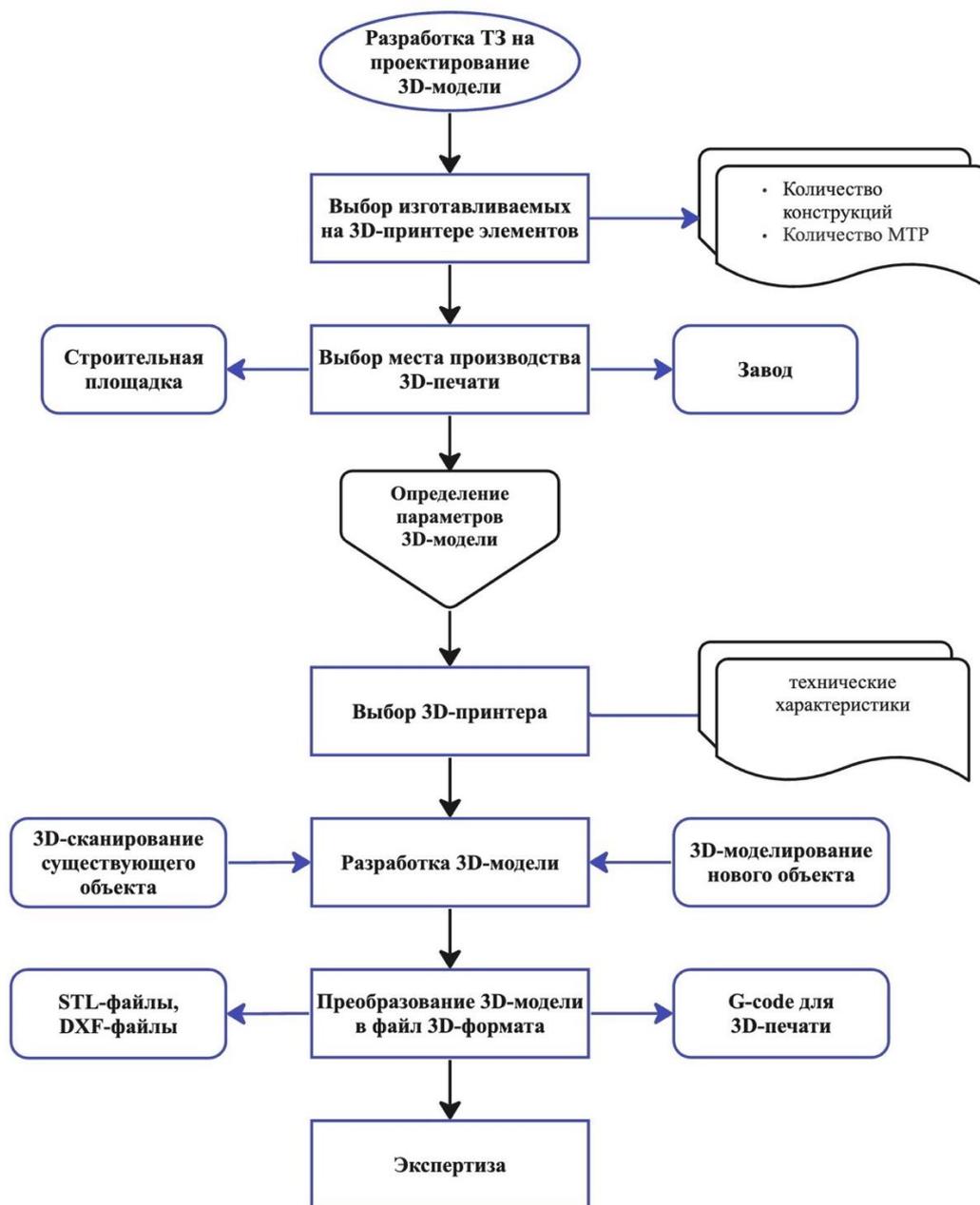


Рис. 2.3 Блок-схема проектирования и подготовки 3D-модели к печати

2.4. Программы САПР, применяемые для проектирования и строительства с помощью аддитивных технологий

На сегодняшний день с помощью программных продуктов для 3D-печати возможно практически полностью автоматизировать печатный процесс и значительно упростить обращение с высокотехнологичной

аддитивной техникой. Системы автоматизированного проектирования для работы с 3D-печатью можно разделить на:

- 1) программы для объемного сканирования;
- 2) программы для 3D-моделирования;
- 3) программы для редактирования и ремонта STL-файлов;
- 4) слайсеры;
- 5) программы для вывода на печать созданных 3D-моделей;
- 6) программы для управления печатным оборудованием.

В целях повышения эффективности автоматизации рабочих процессов, совершенствуются и программные обеспечения, применяемые для работы с 3D-печатью. Для создания и редактирования 3D-моделей применяют системы автоматизированного проектирования или системы автоматизированного дизайна. Наиболее популярные из них представлены на рис. 2.4. Программы для объемного сканирования подразделяются на:

- сканирование с использованием 3D-сканера и программного обеспечения, поставляющегося в комплекте с ним (RangeVision ScanCenter);

- использование фотоаппарата и специальных программ захвата трёхмерных моделей объектов по их фотографиям (Autodesk 123D Catch).

Существует множество форматов файлов для моделей, но большинство 3D-принтеров использует STL-формат. Поскольку не все STL-файлы могут быть распечатаны из-за «негерметичности» модели, некоторые программы компьютерной графики моделируют поверхность, не заботясь о закрытом контуре. Поэтому на первых порах рекомендуется использовать программное обеспечение, специализированное на создание монолитных моделей, например, 123 Design.

Слайсеры — программы, которые принимают цифровые модели (STL, OBJ или 3MF), анализируют их структуру, а затем составляют для 3D-принтеров списки действий, называемые G-кодом (Gcode). Такие списки

содержат всю необходимую оборудованию информацию: до какой температуры прогревать экструдеры и столики, использовать ли обдув, по какой траектории и с каким темпом укладывать материал (CraftWare, Cura, Netfabb Basic, Repetier, Simplify3D, Slic3r и др.).

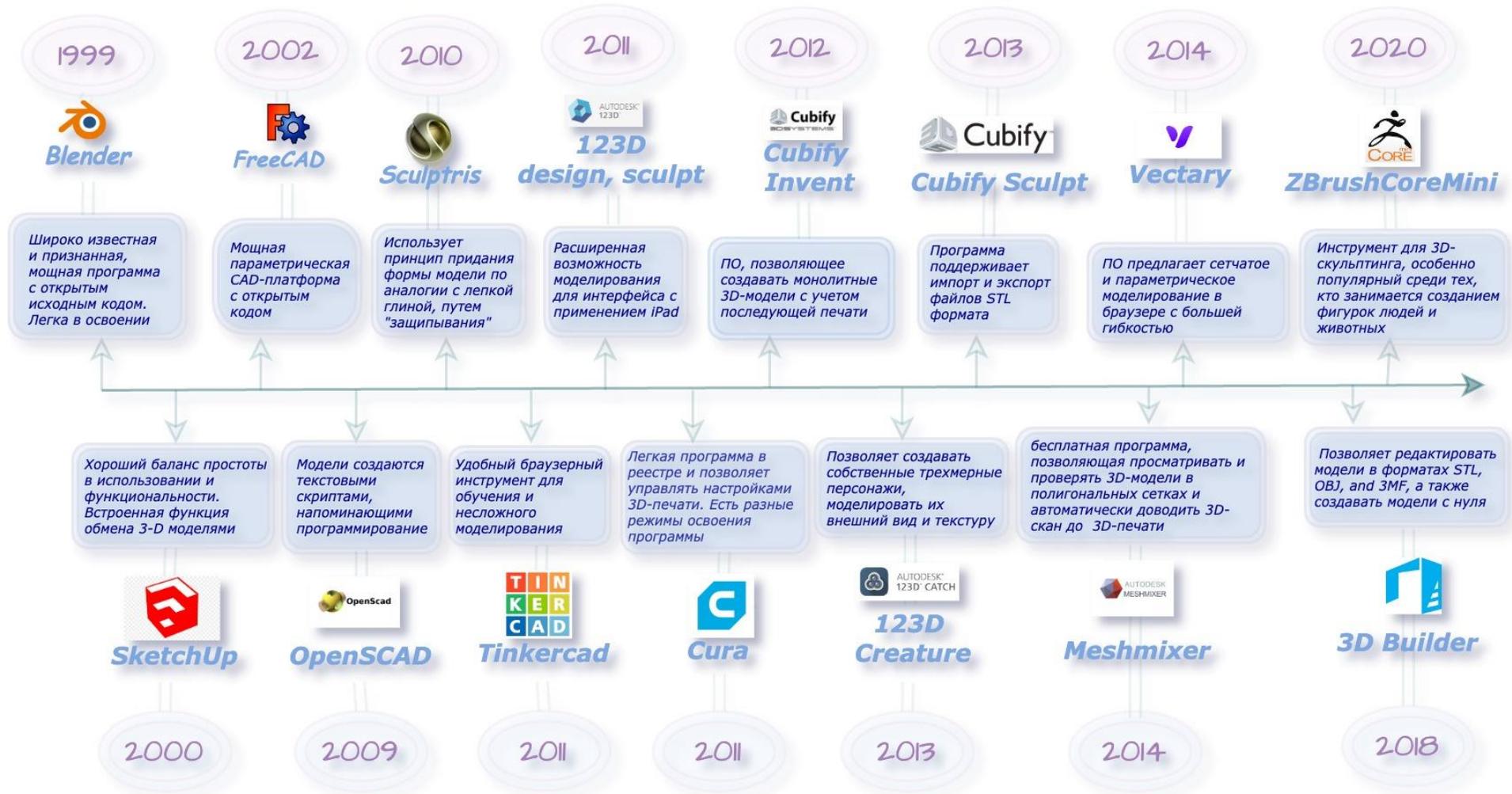


Рис. 2.4. Системы автоматизированного проектирования, применяемые при 3D-печати

Контрольные вопросы для самопроверки по Главе 2

1. Из каких этапов состоит процесс создания 3D-моделей зданий и сооружений для строительства с применением аддитивных технологий.
2. Что такое 3D-моделирование?
3. Какие технологии используются для создания 3D-моделей?
4. В чем цель оптимизации 3D-моделей?
5. Зачем выполняется послойная нарезка 3D-моделей?
6. Приведите развернутые практические примеры применения экструзионной 3D-печати.
7. Назовите какие особенности объемно-планировочных решений имеют здания, возводимые с применением аддитивных технологий.
8. Назовите какие особенности конструктивных решений имеют здания, возводимые с применением аддитивных технологий.
9. Требования к изделию, напечатанному на 3D-принтере.
10. Назовите процесс разработки 3D-модели здания или сооружения для строительства с применением АТ
11. Как происходит проектирование 3D-модели строительных конструкций и строительных объектов для печати.
12. Группы программного обеспечения для работы с аддитивной техникой.
13. Приведите несколько примеров систем автоматизированного проектирования, которые используются в 3D-печати.
14. Способы экспорта информационной модели для 3D-печати.

ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

3.1. Типы и конструктивные особенности 3D-принтеров, применяемых в строительстве

Строительные 3D-принтеры – это инженерные устройства, создающие послойно элементы строительных конструкций зданий, малые архитектурные формы или целые здания и сооружения.

Отличительными особенностями строительных 3D-принтеров являются:

- их большие по сравнению с обычными 3D-принтерами размеры;
- применяемые для 3D-печати строительные растворы на основе цемента;
- рабочая поверхность для 3D-печати, которой является строительная площадка или цех при производстве сборных элементов.

Основное конструктивное отличие от обычного 3D-принтера, обусловленное спецификой применяемого материала, заключается в отсутствии в строительном 3D-принтере нагревающего элемента.

Типы строительных 3D-принтеров:

1. Портальные 3D-принтеры (рис. 3.1). Они представляют собой конструкцию из рамы, трех порталов и печатающей головки. С помощью таких устройств можно печатать здания по частям или целиком (если здание уместается под аркой 3D-принтера).
2. 3D-принтеры типа «дельта» (рис. 3.2). Они не зависят от трехмерных направляющих и могут печатать более сложные фигуры. В них печатающая головка подвешивается на рычагах, которые крепятся к вертикальным направляющим.
3. Роботизированные 3D-принтеры (рис. 3.3). Такие устройства представляют собой робот или группу роботов типа промышленного

манипулятора, оснащенные экструдерами и управляемым компьютером.

4. 3D-принтеры D-Shape (рис. 3.4). Такие принтеры представляют собой отдельный класс, так как они печатают не раствором, а сухим порошковым материалом, каждый слой которого укладывается на желаемую толщину и уплотняется, а затем пропитывается связующим веществом из сопел принтера. Завершенная деталь очищается от лишнего сырья.

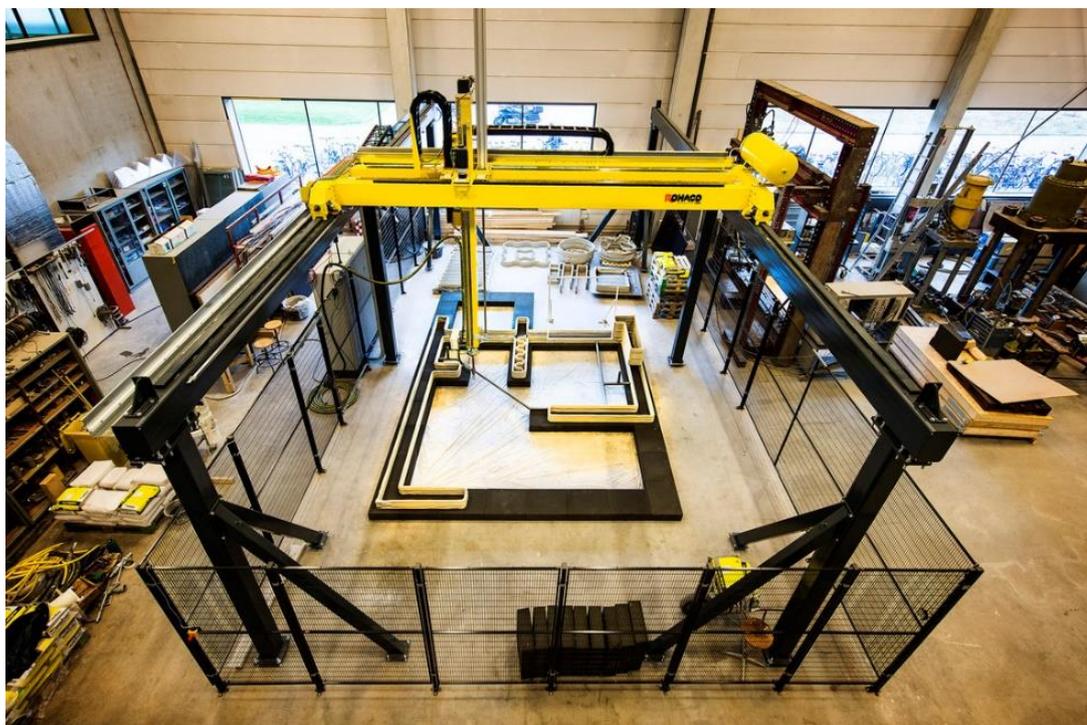


Рис. 3.1. Портальный строительный 3D-принтер



Рис. 3.2. Строительный 3D-принтер типа «дельта»

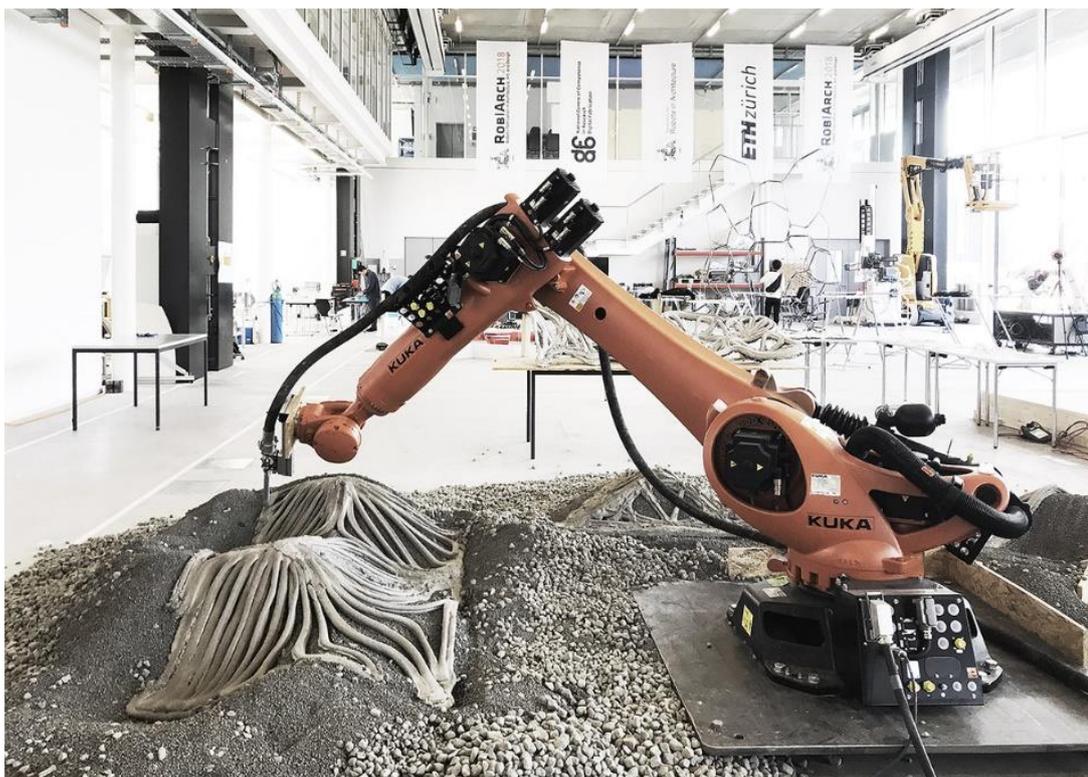


Рис. 3.3. Строительный роботизированный 3D-принтер



Рис. 3.4. Строительный 3D-принтер D-Shape

Работа портального 3D-принтера состоит из следующих операций: печатающая головка принтера, двигаясь вдоль направлений X и Y, печатает рисунок сечения модели строительной смесью, например,

бетоном, гипсом или каолиновыми смесями. При завершении слоя головка поднимается вдоль направления Z на толщину нового слоя, печатает новый слой, и так до завершения построения изделия.

Архитекторы и специалисты используют 3D-принтеры типа «дельта» для получения деталей сложной формы, таких как купола, лестницы и деревья, которые долго создавать вручную. Например, в Италии был напечатан дом (TECLA), куполообразной формы, полностью созданный из природных материалов пригодных для вторичной переработки. Экологически устойчивый дом, напечатанный на 3D-принтере из глины, воды, волокон рисовой шелухи, представлен на Рис. 3.5.



Рис. 3.5. Экологически устойчивый дом TECLA, напечатанный на 3D-принтере, Италия

3.2. Основные производители 3D-принтеров в России

Российская компания АМТ, входящая в группу компаний «АМТ-СПЕЦАВИА». 3D-принтеры АМТ относятся к типу порталных и применяются для изготовления малых архитектурных форм, изделий для

ландшафтного дизайна и благоустройства территории, производства элементов и частей зданий и сооружений с последующей сборкой на стройплощадке, а также печати зданий непосредственно на фундаменте.

Среди моделей, производимых компанией АМТ 3D-принтеров можно выделить следующие группы:

- Принтеры для цехового производства (рис. 3.6), к ним относятся 4 модели: S-3030; S-6044; S-6044 LONG; S-6045M. Сравнительные характеристики данных моделей приведены в таблице 1.
- Принтеры для печати одноэтажных и многоэтажных зданий (рис. 3.7). К этой группе относятся модели S-300 (печать на фундаменте 1-2 этажных зданий высотой до 4 м) и S-500 (печать на фундаменте зданий до 5 этажей высотой до 14 м в базовой сборке). Сравнительные характеристики данных моделей приведены в таблице 2.



Рис. 3.6. 3D-принтер «АМТ» для цехового производства

Таблица 1

Сравнительные характеристики 3D-принтеров «АМТ», предназначенных для установки в цехе

Характеристики	Модель 3D-принтера «АМТ»			
	S-3030	S-6044	S-6045M	S-6044 LONG
Строительная поверхность, м	3,1 x 2,9 x 0,8	3,5 x 3,1 x 1	3,5 x 3,1 x 1	7,5 x 7,1 x 1,05
Тип	Малоформатный порталный строительный 3D-принтер серии S- (Small-format portal COP-printer series S)			Портальный строительный 3D-принтер среднего формата (с увеличенным рабочим полем) серии S- (Medium-format portal COP-printer series S)
Назначение	Печать элементов зданий до 11 м ²	Печать элементов зданий до 11 м ²	Печать элементов зданий до 11 м ²	Печать элементов зданий, малых форм до 55 м ²
Производительность, м ³ /ч	0,6	0,6	0,7	0,6
Рабочая зона, м	2,5 x 2,3 x 0,8	3,5 x 3,1 x 1	3,5 x 3,1 x 1	7,5 x 7,1 x 1,05
Скорость позиционирования, м/мин	12	12	12	12
Точность позиционирования, мм	2	2	2	2
Потребляемая мощность, кВт	2,5	2,5	2,5	4
Размер печатаемого слоя, мм (высота, ширина)	10 x 30	10 x 30	от 5 до 20 / от 20 до 50	10 x 30-40
Расход бетона, м ³ на 1 м ² стены при 4-х слойной печати	0,12	0,12	0,12	0,12
Габаритные размеры, м	3,5 x 3,2 x 3,6	4 x 5 x 3,6	4 x 5 x 3,6	8 x 8,6 x 3,6
Вес, кг	750	870	870	1320
Тип привода	Шаговые электродвигатели с цилиндрическими редукторами			
Комплектация	Принтер, ноутбук, комплект лицензионного ПО, шкаф управления, паспорт, руководство по эксплуатации на русском языке, невозвратная транспортная упаковка			
Применяемы для печати материалы	Пескобетон М300 - М500, геополимерный бетон, гипс, специализированные смеси			
Гарантия производителя	12 месяцев			

Таблица 2

Сравнительные характеристики 3D-принтеров «АМТ», предназначенных для печати зданий на строительной площадке

Характеристики	Модель 3D-принтера «АМТ»	
	S-300	S-500
Строительная поверхность, м	11 x 11 x 4	11 x 29 x 14
Тип	Портальный строительный 3D-принтер большого формата серии S- (Large-format portal COP-printer series S)	
Назначение	Печать элементов зданий, зданий и сооружений на фундаментах до 120 м ²	Печать зданий, зданий и сооружений на фундаментах до 340 м ²
Производительность, м ³ /ч	2,5	2,5
Рабочая зона, м	11 x 11 x 4	11 x 29 x 14
Скорость позиционирования, м/мин	12	
Точность позиционирования, мм	2	2
Максимальная высота с подъемниками, м	-	90
Потребляемая мощность, кВт	12	27
Размер печатаемого слоя, мм (высота, ширина)	от 10 до 30 / от 40 до 80	от 10 до 30 / от 40 до 80
Расход бетона, м ³ на 1 м ² стены при 4-х слойной печати	0,12 - 0,25	0,12 - 0,25
Габаритные размеры, м	14 x 14 x 6,3	-
Вес, кг	2600	5600
Тип привода	Шаговые электродвигатели с планетарными редукторами	
Комплектация	Принтер, ноутбук, комплект лицензионного ПО, шкаф управления, электроподъемники, паспорт, руководство по эксплуатации на русском языке, невозвратная транспортная упаковка, мойка высокого давления, станция автоматизированного приготовления и подачи смеси, три дополнительных сопла	
Применяемы для печати материалы	Пескобетон М300 - М500, геополимерный бетон, гипс, специализированные смеси	
Гарантия производителя	12 месяцев	

Компания «Апис Кор Инжиниринг» (Apis Cor). Разработанный компанией 3D-принтер относится к типу роботизированных (рис. 3.8). В 2017 году с помощью этого принтера было напечатано одноэтажное здание в г. Ступино, Московская область. Габаритные размеры 3D-принтера в сложенном состоянии составляют 4x1,6x1,5 м, масса 2 т. Площадь зоны печати 131 м².



Рис. 3.7. 3D-принтер «АМТ» для печати на строительной площадке

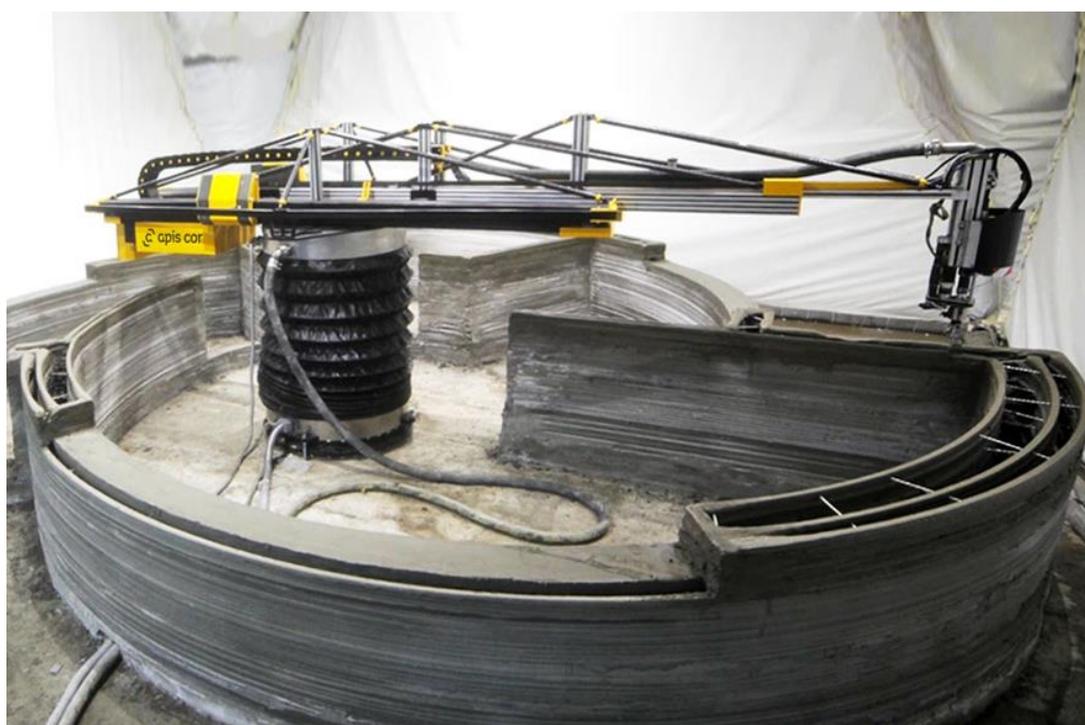


Рис. 3.8. 3D-принтер «Apis Cor»

Технические характеристики 3D-принтера Apis Cor:

- Зона печати – 132 м²;
- Материал для печати – фибробетон или геополимер;
- Потребление энергии – 8 кВт*ч;
- Максимальная высота подъема с одной точки – 3100 мм;

- Производительность – 100 м² полезной площади в сутки;
- Рабочая скорость движения от 1 до 10 м/мин;
- Скорость холостого хода X/ Y – 20 мм/мин;
- Точность позиционирования ± 0,5 мм;
- Точность повторного позиционирования от 0,1 до 0,2 мм;
- Точность по оси Z от 0,1 до 0,2 мм;
- Автоматическая стабилизация по горизонту – высокоточный инклинометр 0.0001 градус;
- Реверсные выключатели – бесконтактные на всех осях;
- Отслеживание местоположения печатающей головки в пространстве – гироскоп и лазерный дальномер;
- Стабилизация в пространстве – ПИД регулятор.

Однако, компанией «Апис Кор Инжиниринг» был реализован только пилотный проект строительства здания с применением 3D-принтера в России. На данный момент времени, компания находится и работает в США.

3.3. Основные зарубежные производители 3D-принтеров

Китайская компания Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co. 3D-принтеры WinSun относятся к типу порталных (рис. 3.9). Компания занимается производством 3D-принтеров и возведением зданий и сооружений с их применением с 2014 года.

Компания из Нидерландов CyBe Additive Industries. Принтер-манипулятор для строительства ProTo R 3Dp относится к типу роботизированных 3D-принтеров (рис. 3.10).



Рис. 3.9. 3D-принтер «WinSun»



Рис. 3.10. 3D-принтер-манипулятор «ProTo R 3Dp»

3D-принтер имеет радиус действия 3,15 м. Диаметр печатающей головки составляет 30 мм, толщина каждого слоя раствора – 30 мм. К устройству можно присоединить несколько экструзионных головок, и тогда скорость печати может быть увеличена до 4000 мм/сек.

Технические характеристики принтера-манипулятора ProTo R 3Dp:

- Программное обеспечение – CyBe ARTISAN, CyBe CHYSEL;
- Материал – CyBe MORTAR;
- Скорость печати – 200 мм/с;
- Расход бетона приблизительно – 1,5 кг/м / 40мм;
- Количество осей – 6;
- Сеть – локальная сеть;
- Для контроля работы и подачи материала требуется 2 человека.

Словенская компания BetAbram занимается разработкой строительных 3D-принтеров с 2012 года, которые относятся к типу порталных. Компания выпускает 3 модели строительных 3D-принтеров: P1, P2 и P3. В таблице 3 приведены их сравнительные характеристики.

Таблица 3

Сравнительные характеристики 3D-принтеров «BetAbram»

Характеристики	Модели		
	P1	P2	P3
Габаритные размеры, м	18 x 9 x 2,5	12 x 6 x 2,5	6 x 3 x 2,5
Вес, кг	520	400	250
Потребляемая мощность, кВт	4	4	3

Перечисленные компании являются наиболее известными производителями строительных 3D-принтеров, однако не единственными. Общее число компаний, занимающихся исследованиями по внедрению аддитивных технологий в строительную отрасль насчитывает более 50 по всему миру. Некоторые прототипы разрабатываются в университетах, таких как Массачусетский технологический институт в США, Университет Нанта во Франции и других. Однако, пока эти 3D-принтеры применяются в лабораторных испытаниях и не выпускаются серийно.

3.4. Материалы, применяемые для 3D-печати строительных конструкций

Основным материалом для 3D-печати зданий и сооружений являются мелкозернистые смеси, которые отличаются от традиционного бетона. Каждая компания-производитель 3D-принтеров разрабатывает свою рецептуру, которая соответствует устройству принтера и его сопла, а также специфике готовых изделий.

Основные параметры строительной смеси для 3D-принтера:

- прочность на сжатие после застывания;
- скорость застывания и набора прочности,
- пластичность.

Данные параметры регулируются составом смеси, а именно количеством вяжущего и качества заполнителей, а также пластифицирующими добавками.

Необходимость экструзии строительного раствора через небольшое сопло 3D-принтера влияет на размер частиц в составе раствора, поэтому для 3D-печати может использоваться мелкий заполнитель для предотвращения возможности засорения печатающей головки (рис. 3.11).

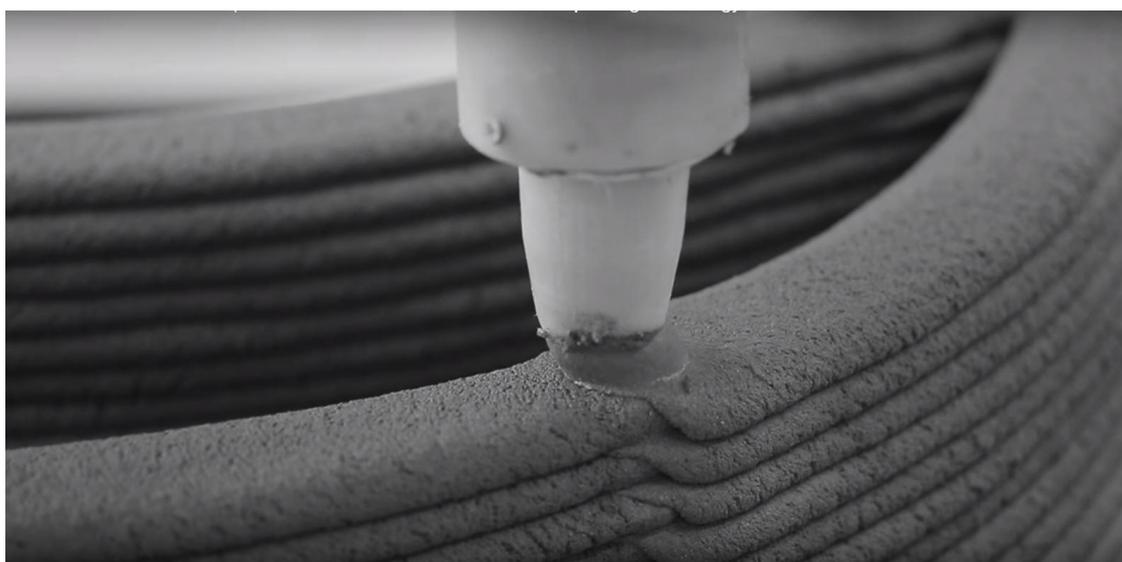


Рис. 3.11. Процесс печати строительных конструкций

В качестве вяжущего материала для приготовления растворов используются:

- портландцемент;
- кварцевая пыль, которая образуется в процессе производства кремния и ферросилиция, сплавов кварца и углерода в дуговой печи. Она состоит из очень мелких шаровидных частиц 0,02-1 мкм с содержанием аморфного диоксида кремния, по меньшей мере 85%;
- геополимер (неорганический полимер) – одна из разновидностей новых минеральных гидравлических вяжущих широкого назначения, получаемых щелочной активацией алюмосиликатного сырья природного и техногенного происхождения;
- магнезиальный цемент – неорганическое вяжущее на основе оксида магния, затворяемого хлоридом или сульфатом магния;
- порошок фосфата калия – неорганического вещества, соли щелочного металла калия и ортофосфорной кислоты.

В качестве пластифицирующих добавок используются:

- добавки на основе поликарбоксилата, представляющего собой полимер акриловой кислоты или сополимер акриловой кислоты и малеиновой кислоты;
- бентонитовая глина – природный глинистый минерал, обладающий свойством разбухать при гидратации;
- модификаторы вязкости, металла, поливинилового спирта (ПВС);
- летучая зола – тонкодисперсный остаток сгорания топлива из его минеральных примесей, содержащийся в дымовом газе во взвешенном состоянии;
- микрокремнезем – ультрадисперсный материал, состоящий из частиц сферической формы, получаемый в процессе газоочистки технологических электродуговых печей при производстве кремния и ферросилиция;

- медный шлак – силикатный материал, получаемый при выплавке меди из медесодержащей руды.

Используемые в 3D-печати мелкозернистые смеси имеют отличную микроструктуру от традиционных бетонных смесей, в связи с этим их механические свойства тоже отличаются. При 3D-печати последующие слои печатаются непосредственно после предыдущих без перерыва, необходимого для набора прочности, как это происходит при традиционном методе строительства. При этом, свойства и характеристики свежееуложенной смеси становятся ключевыми при применении её в качестве материала при аддитивном производстве.

Основные характеристики бетонной смеси для 3D-печати:

- ✓ удобоукладываемость – лёгкость и бесперебойность движения бетонной смеси в системе подачи 3D-принтера;
- ✓ устойчивость формы – способность бетона сопротивляться деформациям от собственного веса, веса последующих слоев и давлению выдавливания;
- ✓ время набора прочности – период времени, в течение которого бетон набирает необходимую прочность;
- ✓ экструдированность – способность бетонной смеси непрерывно выдавливаться из сопла 3D-принтера;
- ✓ подвижность – способность бетонной смеси заполнять пространство без расслаивания;
- ✓ срок хранения готового раствора – это период от момента замешивания раствора до начала печати;
- ✓ гидратация – процесс связывания воды и ингредиентов цементного порошка;
- ✓ водоцементное отношение – отношение массы воды к массе цемента;
- ✓ однородность смеси – отсутствие поверхностных дефектов;

- ✓ тиксотропия – свойство бетонной смеси разжижаться при механических воздействиях и вновь загустевать в спокойном состоянии;
- ✓ адгезия бетонной смеси – сцепление предыдущего уложенного слоя бетонной смеси и вновь укладываемого.

Помимо перечисленных выше основных свойств бетонной смеси, существуют также свойства, связанные непосредственно с технологией 3D-печати:

- пригодность для печати – лёгкость и бесперебойность поступления материала через наплавочный аппарат (сопло);
- промежуток непосредственной печати – наиболее продолжительный период, во время которого смесь может быть напечатана с приемлемым качеством печати;
- промежуток простоя – наибольшему временному периоду, когда смесь может оставаться в сопле перед тем, как бетон затвердеет и закупорит выдавливание.

Приемлемым временем между нанесением соседних слоев является тот временной период, в течение которого смесь должна схватываться как можно быстрее, но достаточно медленно для обеспечения приемлемого сцепления с последующим слоем. Чем меньше срок хранения готового к печати раствора, тем выше прочность сцепления между соседними наносимыми слоями. При большой прочности сцепления между соседними слоями границы слоев не будут в значительной степени влиять на общую конструктивную прочность элемента. Прочность промежуточного слоя будет зависеть от адгезии печатаемых слоев, которая в свою очередь зависит от промежутка простоя.

Временной период промежутка простоя становится критическим параметром в процессе аддитивных технологий производства с использованием бетонной смеси. Межслойная прочность будет уменьшаться с увеличением времени простоя. Между тем сцепление

поверхностей соседних слоев остается самой слабой точкой для элементов, полученных с помощью 3D-принтера.

Так как бетон хорошо работает на сжатие, но при этом плохо воспринимает растягивающие и изгибающие усилия, в традиционной технологии строительства используется армирование, в основном, стальной арматурой для получения железобетонных конструкции, способных воспринимать все три типа усилий.

При 3D-печати возможно использовать традиционный способ армирования стальной арматурой, которую можно прокладывать в горизонтальном направлении между напечатанными слоями. В вертикальном направлении армирование возможно если 3D-принтер печатает контур стен (несъемную опалубку) с последующим их заполнением (рис. 3.12).

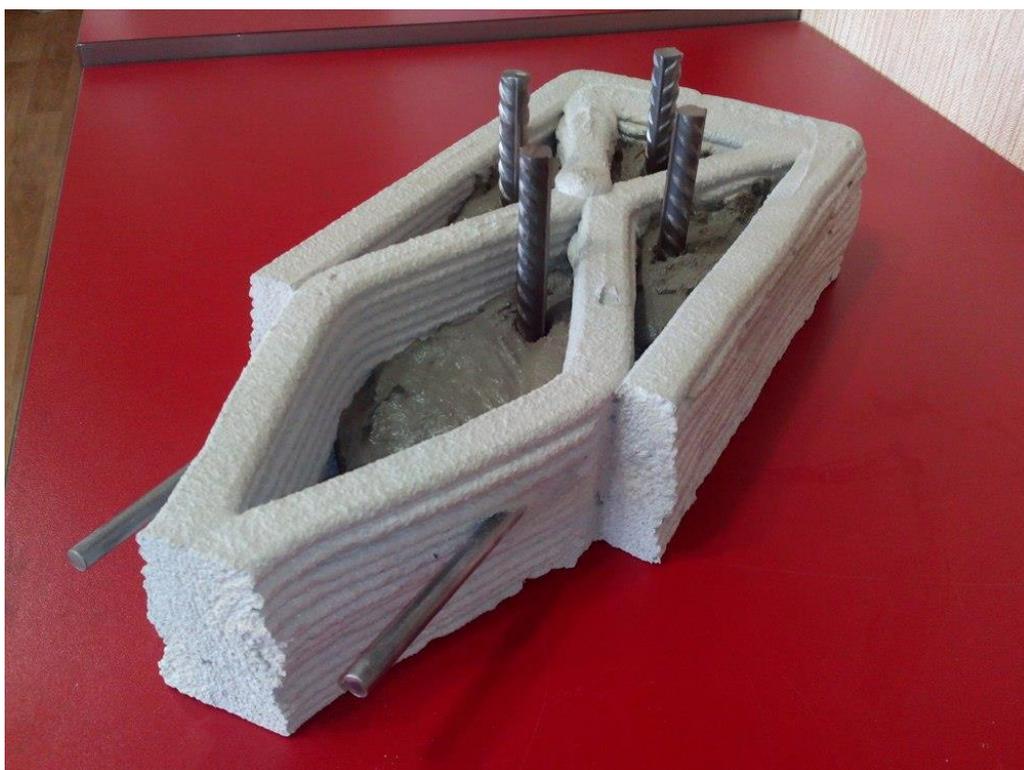


Рис. 3.12. Вариант вертикального и горизонтального армирования при 3D-печати

Перспективным вариантом армирования является дисперсное армирование, при котором в бетонную смесь добавляется фиброволокно (рис. 3.13). Оно представляет собой материал, применяемый в качестве

армирующего компонента для улучшения свойств бетона. Фибра добавляется в сухие строительные смеси, меняя структуру вяжущих веществ на микроуровне, обеспечивая прочность и жесткость конструкции. В строительстве используются различные виды фибры: стеклянная, полипропиленовая, базальтовая и стальная.



Рис. 3.13. Фибра для дисперсного армирования

Дисперсное армирование является альтернативой традиционному армированию, однако важно учитывать технологию его применения в растворе. Необходимо соблюдать точную дозировку фибры, учитывая ее вид фибры, также важно ее равномерно распределить в строительной смеси тщательным перемешиванием.

3.5. Процесс печати элементов строительных конструкций с помощью 3D-принтера

В строительстве используется два типа печати:

1. Метод экструзии (выдавливания) строительной смеси, слой за слоем, по заданной трехмерной компьютерной модели объекта (здания или сооружения) (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Процесс 3D-печати здания

2. Метод гранулирования, в котором в качестве основного материала используется порошковое сырье. При методе гранулирования существуют два способа обработки: струйная обработка порошковым слоем и струйная обработка связующим. Первый характеризуется плавлением частиц порошка с помощью лазера на желаемом объекте слой за слоем, в то время как лист покрытия добавляет больше порошка для каждого нового слоя. С другой стороны, в струйной обработке связующим используется печатающая головка, которая наносит жидкий адгезивный агент на порошковый слой для печати. Жидкость связывает частицы порошка вместе, образуя каждый слой желаемого объекта. Затем добавляется новый слой порошка, и процесс повторяется слой за слоем. Этот процесс позволяет печатать с более высоким уровнем точности, и они могут обрабатывать более сложные отпечатки.

Метод экструзии является самым распространённым. С его помощью можно создавать отдельные строительные элементы, а также полностью возводить здание непосредственно на участке. Для этого заранее подготовленная смесь, состоящая из цемента, наполнителя, пластификатора и других добавок, загружается в бункер устройства и оттуда подается к головке принтера. Смесь наносится на поверхность площадки или предыдущие напечатанные слои.

Рассмотрим аддитивное производство здания на примере использования строительного принтера, разработанного словенской компанией BetAbram.

Процесс производства можно условно разделить на четыре этапа:

1. Разработка проекта будущей постройки. По сравнению с традиционным методом строительства тут ничего не меняется. Кроме обязательного условия – модель должна быть трёхмерной, в электронном виде.
2. Установка оборудования и подготовка расходных материалов. Рецепт приготовления раствора обычно указан в инструкции к принтеру и/или предоставляется производителем.
3. После подготовительных работ, оператор запускает печать и строительный 3D-принтер начинает выдавливать раствор по заданной траектории. Слой за слоем создаются внешние и внутренние стены здания или отдельного элемента. Оператор только контролирует процесс экструзии, следит за подачей строительной смеси.
4. По окончании печати печатающую головку необходимо достать из принтера и тщательно промыть. Осуществляют разбор оборудования 3D-принтера.

Аддитивная технология 3D-печати для строительства зданий и сооружений может быть реализована двумя принципиально разными способами:

1. 3D-печать здания или сооружения на строительной площадке (рис. 3.15), при этом одним из ключевых преимуществ данного способа – отсутствие необходимости установки опалубки.
2. Монтаж здания или сооружения из сборных элементов, изготовленных с использованием 3D-печати (рис. 3.16).



Рис. 3.15. Процесс 3D-печати на строительной площадке



Рис. 3.16. Процесс 3D-печати элементов строительных конструкций в заводских условиях

Контрольные вопросы для самопроверки по Главе 3

1. Основное конструктивное отличие строительного 3D-принтера от обычного 3D-принтера.
2. Отличительные особенности строительных 3D-принтеров.
3. Портальные 3D-принтеры. Конструктивные особенности и принцип работы.
4. 3D-принтеры типа «дельта». Конструктивные особенности и принцип работы.
5. Роботизированные 3D-принтеры. Конструктивные особенности и принцип работы.
6. 3D-принтеры D-Shape. Конструктивные особенности и принцип работы.
7. Основные производители 3D-принтеров в России.
8. Основные зарубежные производители 3D-принтеров.
9. Типы вяжущих, применяемых для приготовления строительных растворов для 3D-печати.
10. Какие пластифицирующие добавки используются для приготовления растворов и зачем?
11. Какими свойствами должны обладать строительные растворы для 3D-печати.
12. Типы армирования при 3D-печати строительных конструкций.
13. Виды фибры, применяемые для дисперсного армирования.
14. Типы 3D-печати, применяемые в строительстве.
15. Способы строительства зданий и сооружений с использованием 3D-принтеров.

ГЛАВА 4. 3D-ПЕЧАТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

4.1. Методы и виды работ, выполняемых при строительстве зданий и сооружений

Строительство зданий и сооружений на строительной площадке можно разделить по времени на следующие стадии:

1. Подготовительные работы (подготовка строительной площадки к началу производства строительных работ);
2. Возведение подземной части здания или сооружения (к подземной части здания относятся конструкции, находящиеся ниже отметки 0.000 мм);
3. Возведение надземной части здания или сооружения;
4. Отделочный период, включающий в себя внутреннюю и наружную отделку, установку инженерного оборудования, специальные работы, благоустройство территории вокруг построенного объекта).

Для строительства любого здания или сооружения всегда необходимы ресурсы, которые можно разделить на следующие группы:

1. Строители (рабочие, бригадиры, инженерно-технические работники);
2. Строительная техника (монтажные краны, экскаваторы и т.п.);
3. Строительные материалы, изделия и полуфабрикаты.

Здание – это объект, предназначенный для длительного пребывания в нём людей (жилое здание, офисное здание, здание университета или больницы и т.п.).

Сооружение – это объект, не предназначенный для длительного пребывания в нём людей (мост, туннель, башня, мачта и т.п.).

При строительстве зданий и сооружений выполняются комплексы работ, которые можно объединить в три группы:

1. Общестроительные работы (земляные, свайные, каменные, монтажные, бетонные, кровельные, отделочные).
2. Специальные работы (монтаж систем водоснабжения, канализации, отопления, вентиляции, монтаж технологического оборудования, лифтов).
3. Вспомогательные работы, предназначенные для обеспечения строительства материалами, деталями и т.п. Они подразделяются на транспортные и погрузочно-разгрузочные.

Строительство зданий и сооружений можно осуществлять следующими методами:

1. Последовательный метод – каждый новый процесс начинается после полного окончания предыдущего процесса. К преимуществам метода можно отнести минимальные затраты материально-технических ресурсов, а к недостаткам – максимальную продолжительность производства работ.
2. Параллельный метод – однотипные процессы выполняются одновременно. К преимуществам метода можно отнести минимальные затраты времени, а к недостаткам – максимальные затраты ресурсов.
3. Поточный метод, при котором однородные процессы выполняются последовательно, а разнородные – параллельно. Данный метод является наиболее распространяемым в строительстве, так как совмещает в себе преимущества последовательного и параллельного метода.

При строительстве здания или сооружения с применением 3D-печати могут использоваться все три метода, но чаще всего используется **последовательный метод**. Это связано с тем, что 3D-печать строительных конструкций здания является простым (рабочим) процессом, занимает значительно меньше времени по сравнению с традиционными технологиями их возведения, что не требует необходимости применять

поточный метод, подразумевающий расчленение работы на составляющие процессы и фронта работ на отдельные участки, или параллельный метод, подразумевающий одновременное выполнение нескольких строительных процессов.

С точки зрения классификации строительных работ, процесс 3D-печати строительных конструкций относится к **общестроительным работам**, так как 3D-принтер применяется при возведении самого здания, однако его доставка, установка и настройка относится к **вспомогательным работам**.

С точки зрения стадии строительства, на которой используется 3D-принтер, 3D-печать относится к **возведению надземной части** здания или сооружения. Это связано с тем, что пока 3D-принтер применяется для возведения несущих стен надземной части здания и не используется при возведении фундамента.

Рассмотрев классификацию строительных работ и их стадийность, мы приходим к выводу, что возведение зданий и сооружений на строительной площадке с применением 3D-печати нельзя рассматривать как полностью автоматизированный процесс, который можно полностью выполнить 3D-принтером. Большинство строительных процессов на строительной площадке необходимо выполнять с применением традиционных методов и технологий.

4.2. Подготовительные работы на строительной площадке

Подготовительные работы выполняются для подготовки строительной площадки к основному процессу строительства.

Последовательность и состав подготовительных работ:

- Предварительная подготовка территории, отведенной под строительство, включающая:
 - ✓ Геодезическую разбивку территории строительной площадки, а именно создание опорной геодезической сети, поверочное

нивелирование территории, разбивку будущего здания и сооружения на местности, привязку его к опорной геодезической сети или к существующим соседним зданиям, устройство обноски вокруг будущего здания, закрепление осей (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Процесс геодезической разбивки территории

- ✓ Ограждение строительной площадки.
- ✓ Выполнение, при необходимости, дополнительных инженерно-геологических изысканий (исследование грунтов как будущего основания, определение уровня грунтовых вод и т.п.).



Рис. 4.2. Процесс удаления деревьев и кустарников, попадающих в зону застройки

- ✓ Расчистка территории строительной площадки, а именно удаление деревьев и кустарников, попадающих в зону застройки и не подлежащих пересадке; снос ветхих строений; перенос или демонтаж существующих сетей (рис. 4.2 и рис. 4.3).



Рис. 4.3. Процесс сноса ветхих строений, попадающих в зону застройки

- Инженерная подготовка территории строительной площадки, включающая:

- ✓ Вертикальную планировку строительной площадки;
- ✓ Устройство поверхностного водоотвода для исключения скопления водных масс в местах пониженного рельефа от таяния снега, атмосферных осадков и т.п. в виде водоотводящих каналов.
- ✓ Устройство временных дорог и инженерных сетей (водоснабжение, водоотвод, электроэнергия, теплоснабжение) на строительной площадке (рис. 4.4).
- Устройство бытового городка для нужд строителей и складов для хранения строительных материалов.



Рис. 4.4. Устройство временных дорог из дорожных плит

4.3. Строительство подземной части зданий или сооружений

После завершения подготовительных работ начинается возведение подземной части здания или сооружения. Эта стадия строительства включает в себя земляные работы, свайные и буровые работы (при необходимости), устройство фундамента здания или сооружения.

Земляные работы включают в себя как основной процесс – разработка грунта для устройства котлована или траншеи под будущий фундамент здания, так и вспомогательные процессы, выполняемые в

зависимости от местных условий территории, отведенной под строительство. К вспомогательным процессам относятся: снятие растительного слоя почвы, рыхление грунта, открытый водоотлив или искусственное понижение грунтовых вод, крепление откосов траншеи или котлована (рис. 4.5), искусственное закрепление грунтов.

Свайные и буровые работы выполняются при необходимости, например, когда необходимо сделать свайный фундамент, понизить уровень грунтовых вод, при некоторых способах искусственного закрепления грунтов и т.д.

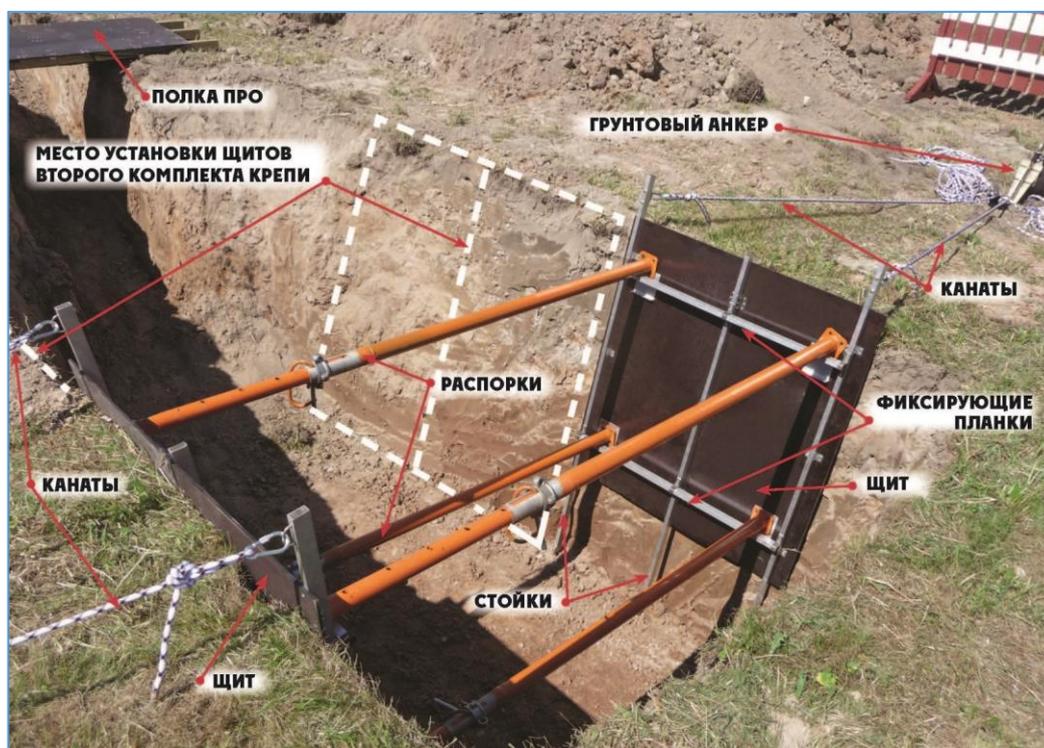


Рис. 4.5. Варианты крепления откосов котлована или траншеи

После разработки котлована под фундамент здания или сооружения выполняется **подготовка основания под фундамент**, которая необходима для выравнивания дна котлована или траншеи для равномерного распределения нагрузки от фундамента на грунт.

Подготовка основания под фундамент может быть выполнена в виде:

- Песчаной подготовки толщиной 100-200 мм, ширина и длина которой на 200-300 мм больше размеров фундамента;
- Щебеночной подготовки толщиной 100-200 мм, выполняемой по песчаной подготовке;
- Бетонной подготовки (подбетонки), которая устраивается при возведении монолитных железобетонных фундаментах. Среднее значение толщины подбетонки 100 мм.

Выбор вида подготовки под фундамент зависит от типа фундамента и геологических условий участка, отведенного под строительство.

Фундамент – это строительная несущая конструкция, часть здания или сооружения, которая воспринимает все нагрузки от вышележащих конструкций и распределяет их по основанию.

Основным материалом для возведения фундаментах сейчас является железобетон, при этом железобетонные фундаментах могут быть монолитными, т.е. возведенными полностью на строительной площадке, или сборными, т.е. состоящими из отдельных элементов, изготовленных в заводских условиях и смонтированных в проектное положение на строительной площадке.

Фундаменты мелкозаложенного бывают (рис. 4.6):

- Столбчатые (отдельно стоящие) фундаментах;
- Ленточные фундаментах;
- Сплошная фундаментная плита.



Рис. 4.6. Типы фундаментов

При выборе типа фундамента и глубины его заложения рассматриваются следующие факторы:

- Объемно-планировочное решение здания (этажность, наличие подвала и т.п.);
- Конструктивная схема здания (каркасная, с несущими стенами и т.д.);
- Климатические и географические условия места строительства (глубина промерзания, риск подтопления и т.п.);
- Геологические условия места строительства (вид и несущая способность грунтов, наличие подземных вод и т.п.).

При 3D-печати зданий в основном используется ленточный фундамент или фундаментная плита, это обусловлено конструктивными

особенностями возводимых зданий и технологическими особенностями их возведения (конструктивная схема с несущими стенами, установка 3D-принтера внутри контура здания).

После устройства подземной части здания или сооружения, а также её гидроизоляции, строительный процесс переходит в следующую стадию – **возведение надземной части.**

4.4. Строительство надземной части зданий или сооружений с применением 3D-печати

Процесс возведения надземной части здания или сооружения начинается с установки 3D-принтера, его настройки и подготовки к печати. При этом, для установки ряда моделей 3D-принтеров при строительстве многоэтажных зданий возникает необходимость в установке опор, располагающихся на отдельных фундаментах, которые также должны быть выполнены во время подземного этапа строительства.

При этом 3D-принтер может быть установлен как снаружи строящегося здания (портальный 3D-принтер), так и внутри контура здания (роботизированный 3D-принтер) (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Схемы установки 3D-принтера на строительной площадке относительно строящегося здания

При строительстве в неблагоприятных климатических условиях, помимо установки 3D-принтера, необходимо установить временный шатер (тепляк).

На строительной площадке изготавливается строительный раствор, используемый для 3D-печати. Далее он подается в 3D-принтер и начинается процесс печати. Минимальное количество человек, задействованных в процессе печати – 2 человека (оператор и рабочий, отвечающий за подачу строительной смеси).

3D-принтер печатает несъемную опалубку контура стен здания, после завершения процесса печати её основной задачей становится выдерживание нагрузки от укладываемой внутрь бетонной смеси (рис. 4.8). Заполнение и вертикальное армирование стен выполняется после завершения процесса 3D-печати (рис. 4.9). Горизонтальное армирование выполняется в процессе печати, арматура или сетка укладывается между напечатанными слоями. Отсутствие перевязки арматурных стержней не позволяет уверенно сравнивать прочностные характеристики такой конструкции с традиционными железобетонными конструкциями.

При 3D-печати проектируемые оконные и дверные проемы создаются наряду со всеми необходимыми техническими отверстиями. Для их создания применяются деревянные или пластиковые проёмообразователи.



Рис. 4.8. 3D-печать несъемной опалубки контура стен здания

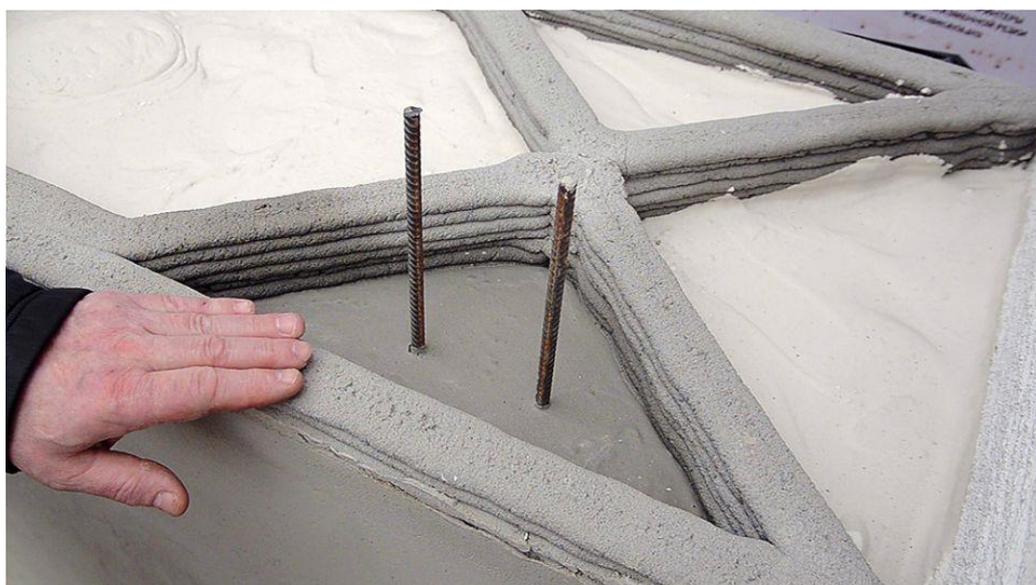


Рис. 4.9. Вариант вертикального армирования и заполнения контура стен

После возведения вертикальных несущих конструкций здания строители переходят к устройству конструкции крыши (для одноэтажного

здания) или междуэтажного перекрытия (для многоэтажного здания). Крыша и перекрытия выполняются без использования 3D-принтера по традиционным технологиям, если, конечно, не рассматривать бионические одноэтажные формы.

После устройства крыши и выполнения кровельных работ наступает завершающий этап строительства – отделка здания и благоустройство территории. Параллельно с этим выполняются специальные работы (электротехнические, сантехнические, устройство отопления и вентиляции, прокладка слаботочных сетей, монтаж дополнительного оборудования внутри здания).

Во время отделки здания выполняются внутренние и наружные отделочные работы, которые включают в себя: штукатурные, облицовочные и малярные работы, а также устройство напольных и потолочных покрытий в помещениях (рис. 4.10).



Рис. 4.10. Процесс наружной отделки здания, построенного с применением 3D-печати

После выполнения всех этапов строительства мы получаем готовый к эксплуатации строительный объект с характерным для 3D-печати внешним видом стен.

Рассмотрев подробно все стадии строительства, мы ещё раз можем заключить, что процесс 3D-печати при возведении здания является одним

из множества строительных процессов, выполняемых на строительной площадке. 3D-печать здания пока является больше рекламным заявлением, чем полностью автоматизированным процессом получения готовой строительной продукции. Однако, даже автоматизация и ускорение одного из процессов на строительной площадке позволяет сократить общее время строительства и повысить качество возводимых конструкций.

Контрольные вопросы для самопроверки по Главе 4

1. Основные стадии строительства зданий и сооружений. На какой стадии применяется строительный 3D-принтер?
2. Ресурсы, используемые для строительства.
3. Чем здания отличаются от сооружений?
4. Виды работ при строительстве зданий и сооружений. К какому виду относится 3D-печать?
5. Методы выполнения строительных процессов.
6. Последовательность и состав подготовительных работ на строительной площадке.
7. Какие работы включает в себя этап возведения подземной части здания?
8. Для каких целей выполняются земляные работы, что они в себя включают?
9. Для чего и когда выполняются свайные и буровые работы?
10. Как подготавливается основание под фундамент.
11. Что такое фундамент? Типы фундаментов.
12. Факторы, влияющие на выбор типа и глубины заложения фундаментов.
13. Опишите процесс 3D-печати строительных конструкций.
14. Что в себя включают специальные работы?
15. Какие работы выполняются во время отделочного периода строительства.

ГЛАВА 5. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПЕЧАТИ

5.1. Организация производства элементов строительных конструкций с применением 3D-печати

Строительство зданий и сооружений из сборных элементов имеет ряд преимуществ по сравнению с технологией монолитного железобетона, таких как:

- ✓ быстрые темпы возведения здания на строительной площадке;
- ✓ смещение части строительных процессов со строительной площадки в заводские условия, где можно выполнять работы конвейерным методом.

При этом, важную роль при такой технологии строительства играют логистические процессы доставки и складирования необходимых элементов и оборудования для монтажа на строительной площадке.

Первый вопрос, на который необходимо ответить, при организации строительства зданий или сооружений из элементов, изготовленных с использованием 3D-печати – где будет располагаться место их производства относительно строительной площадки.

Рассмотрим две противоположные ситуации:

1. Производство элементов в цеху, расположенном на достаточном удалении от места строительства.
2. Производство элементов на строительной площадке или расположенном рядом со строительством приобъектном полигоне.

Преимуществом первого варианта является то, что оборудование для 3D-печати находится стационарно и нет необходимости в его доставке и установке на строительной площадке. В условиях цеха оборудование проще обслуживать и поддерживать его работоспособность. Не мало важным моментом является то, что производство находится в закрытом

помещении и не подвержено отрицательному влиянию климатических факторов.

Недостатком является необходимость своевременной доставки изготовленных элементов и организации их правильного складирования на строительной площадке.

На наш взгляд, первый вариант организации строительства целесообразен, когда у строительной компании есть заказы на строительство объектов, расположенных в различных местах, и при этом есть возможность организации стационарного производства элементов.

Преимуществом второго варианта является близкая расположенность мест производства элементов и их сборки, что исключает или сводит к минимуму процессы доставки элементов. Однако, вопросы организации правильного складирования элементов остаются, т.к. процесс изготовления элементов должен выполняться с опережением относительно монтажных работ для исключения вероятности срыва сроков строительства.

Недостатком является необходимость доставки и установки 3D-принтера на строительной площадке или приобъектном полигоне, что также усложняет процессы его технического обслуживания. При этом изготовление элементов становится зависимым от климатических факторов (температура воздуха, наличие осадков). Данная проблема может быть решена устройством временного строительного сооружения (тепняка), что требует дополнительных расходов.

Второй вариант целесообразен при застройке коттеджного поселка, жилого микрорайона и т.п., в условиях, когда необходимо строить достаточно большое количество объектов, расположенных на определенной локальной территории.

Второй вопрос – это номенклатура изготавливаемых с применением 3D-печати элементов. В зависимости от конструктивной схемы здания можно выделить основные типы конструктивных элементов:

- Элементы подземной части здания: фундамент (типы фундамента подробно рассмотрены в предыдущем разделе), стены и перекрытие подвального этажа;
- Вертикальные несущие конструкции надземной части зданий: колонны (при каркасной схеме здания) и стены (при схеме с несущими стенами);
- Горизонтальные несущие конструкции: балки и ригеля, плиты перекрытия;
- Конструктивные элементы крыши: плита покрытия, стропильные конструкции (балки, фермы).

Разделение сооружения на конструктивные элементы зависит от типа сооружения. В заводских условиях или в условиях приобъектного полигона можно изготовить с применением 3D-принтера как вертикальные несущие элементы (стены, колонны), так и другие рассмотренные выше типы конструкций (фундаменты, балки, плиты перекрытия) при условии обеспечения необходимого армирования горизонтальных конструкций. Необходимость армирования горизонтальных конструкций связана с их работой на растяжение и изгиб, которые воспринимает арматура в железобетонном элементе, бетон при этом работает на сжатие.

Таким образом, при реализации технологии сборного строительства мы можем напечатать более широкую номенклатуру конструктивных элементов, чем при монолитной технологии, при которой мы ограничены только вертикальными конструкциями.

Строительство зданий и сооружений из элементов, изготовленных с использованием 3D-печати включает следующие процессы:

1. *Транспортные процессы* (доставка и складирование элементов конструкций на строительной площадке).
2. *Вспомогательные процессы* (укрупнительная сборка и временное усиление элементов конструкций).

3. Основные процессы (установка элементов конструкций в проектное положение, временное и окончательное их закрепление).

5.2. Транспортные и вспомогательные процессы при строительстве зданий из элементов, изготовленных с применением 3D-печати

Доставка элементов осуществляется специализированными транспортными средствами, в зависимости от типа и габаритов перевозимых элементов, в проектное или близком к проектному положению (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Доставка сборных элементов спецавтотранспортом



Рис. 5.2. Разгрузка сборных элементов, изготовленных 3D-принтером компании WinSun

Это обусловлено двумя причинами:

1. Удобство погрузки и разгрузки элементов (при их производстве в плоскости подъема устраиваются монтажные петли) (рис. 5.2).
2. При проектировании конструкции рассчитываются на работу (восприятие нагрузок) в проектном положении, соответственно, доставка в проектном или близком к проектному положению предотвращает повреждение конструкций.

Складирование элементов конструкций осуществляется в проектном или близком к проектному положению по тем же причинам, что и при доставке. Способ хранения элементов зависит от их конструктивных особенностей: горизонтальные конструкции допустимо складывать на специально подготовленную складскую площадку в штабель, используя прокладки из досок или бруса между элементами; вертикальные элементы хранятся в специальных кассетах или пирамидах, обеспечивающих возможность хранения в близком к проектному положению (рис. 5.3).

Для предотвращения простоя из-за логистических проблем площадь склада определяется на основе расчетов запаса элементов, необходимых для бесперебойного хода монтажных работ в течение 3 суток.

Укрупнительная сборка конструктивных элементов на строительной площадке применяется, когда их масса и размеры превышают допустимые для транспортирования в целом виде, а также для ускорения процесса монтажа, так как соединение элементов производится на земле, что быстрее и удобнее по сравнению с аналогичными действиями на высоте.

Временное усиление элементов конструкций применяется, когда при монтаже в них возникают дополнительные усилия, которые могут привести к разрушению элемента. Это особенно актуально для напечатанных на 3D-принтере бетонных элементов, не имеющих достаточного армирования, способного воспринимать растягивающие и изгибающие усилия. Усиление выполняется креплением к поднимаемым

конструкциям дополнительных элементов, которые будут воспринимать нагрузки при подъеме (металлический уголок, швеллер, деревянный брус).

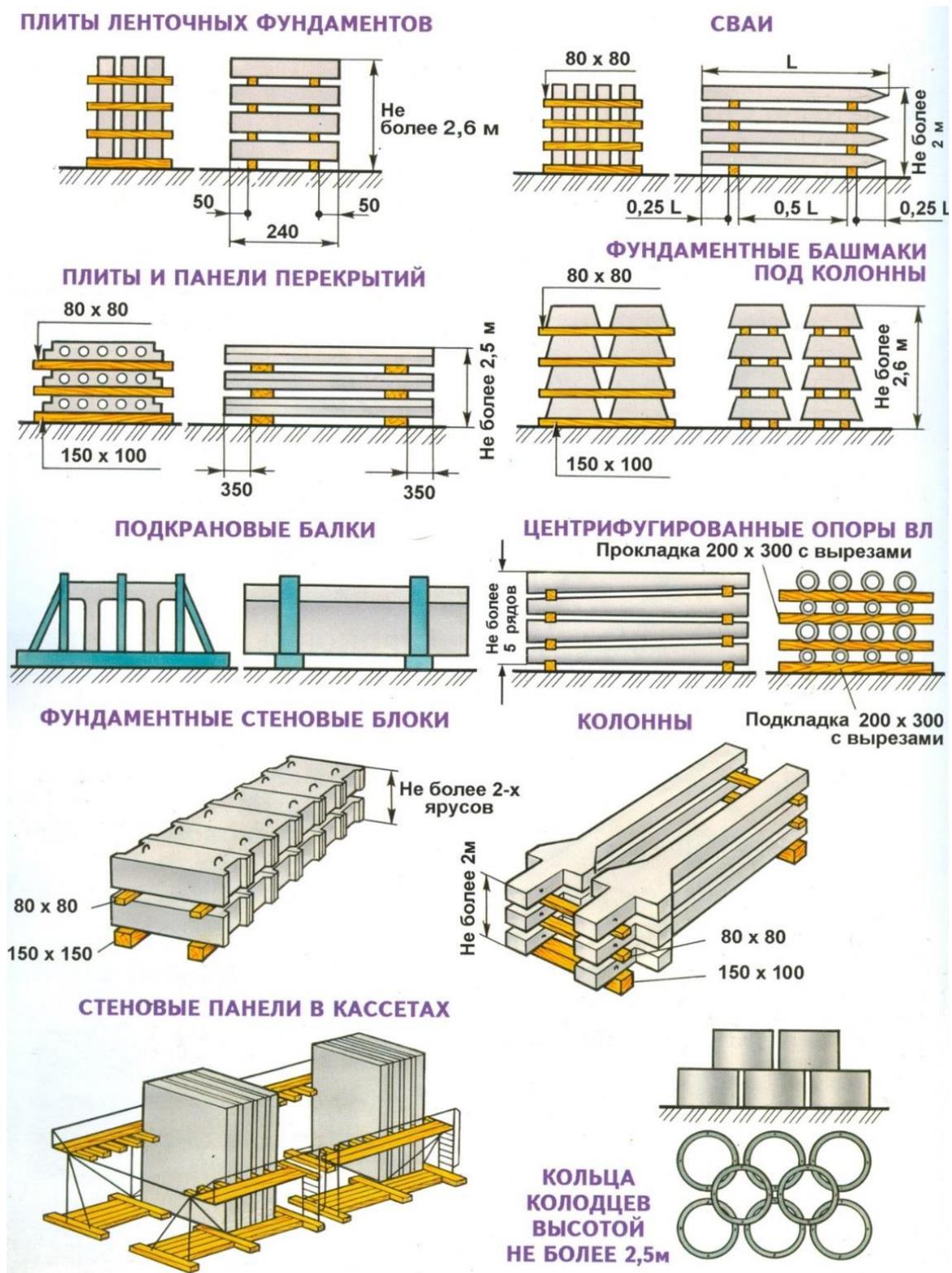


Рис. 5.3. Схемы складирования различных элементов

5.3. Монтаж элементов конструкций в проектное положение на строительной площадке

Основной процесс установки элементов в проектное положение может осуществляться следующими способами:

- Монтаж на весу (подъем и подача элемента в подвешенном виде к месту установки) (рис. 5.2).
- Способы скольжения и поворота, применяются при монтаже высоких конструкций (колонн, труб, мачт) (рис. 5.4).

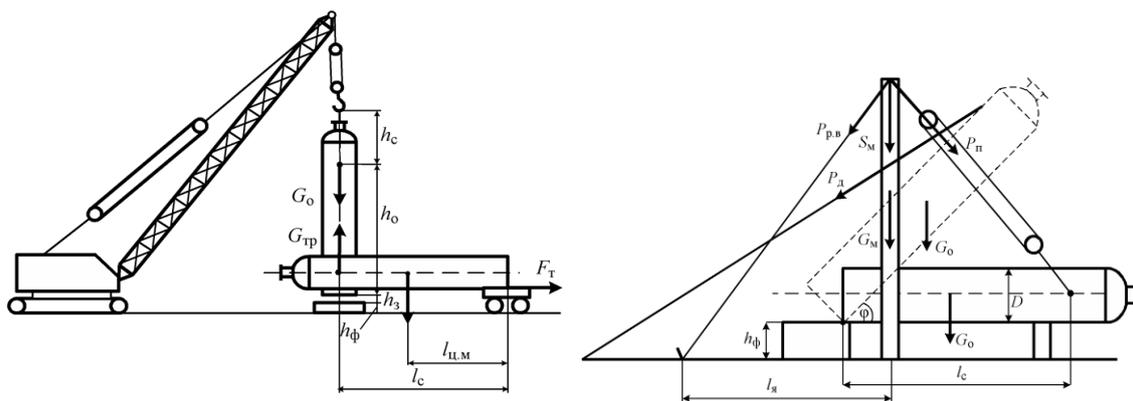


Рис. 5.4. Способы монтажа скольжением и поворотом

Для монтажа элементов в проектное положение могут применяться различные средства механизации, основными из которых являются строительные краны, которые подразделяются на (рис. 5.5):

- *Самоходные краны* (автомобильные, пневмоколесные и гусеничные краны) применяются для монтажа элементов конструкций малоэтажных зданий.
- *Башенные краны* (башенные краны с поворотной башней и поворотной стрелой) применяются для монтажа элементов конструкций многоэтажных зданий.
- *Козловые краны* применяются, в основном, на территориях производственных предприятий.



Рис. 5.5. Различные типы башенных кранов



Рис. 5.6. Стропы двухветвевой и четырехветвевой

Так как у монтажного крана один крюк, но при этом необходимо поднимать различные грузы, то для подъема используются специальные грузозахватные приспособления:

- *Стропы* – стальные канаты с крюками и петлями для крепления элементов к крюку крана. Они бывают кольцевыми, одноветьевыми, двухветьевыми и четырехветьевыми. Стропы применяются, когда у элементов конструкций есть монтажные петли (рис. 5.6).

- Траверсы – состоят из балки или фермы, подвешиваемой к крюку крана, с присоединенными к ней стропами. Они используются если поднимаемые элементы не могут воспринимать сжимающие усилия, возникающие от наклонных гибких строп, или если элементы имеют значительные габариты, не позволяющие поднять их стропами (рис. 5.7).
- *Захваты* – применяются для подъема элементов, не имеющих монтажных петель. Они имеют различные конструкции, в зависимости от особенностей поднимаемых элементов (рис. 5.8).



Рис. 5.7. Траверса для подъема сборных элементов



Рис. 5.8. Захваты для подъема различных сборных элементов

После установки конструктивного элемента здания или сооружения возникает задача проверить и скорректировать (провести выверку)

правильности его положения согласно проекту, а после закрепить. Для этих целей используются **приспособления для временного крепления и выверки конструкций**. Временное крепление необходимо, чтобы освободить кран для подъема следующего элемента, так как процесс окончательного закрепления конструкций друг относительно друга требует времени.

Тип и конструкция временного крепления зависит от закрепляемого элемента, например, для колонн используются клиновые вкладыши или кондукторы, а для стен, балок, ферм – струбцины и подкосы (рис.5.9).

При работе на высоте применяются подмости (наземные и подвесные). Наземные подмости устанавливаются на земле или перекрытии (используются при монтаже на небольшой высоте). Подвесные подмости крепятся к монтируемой конструкции и поднимаются вместе с ней (рис. 5.10).

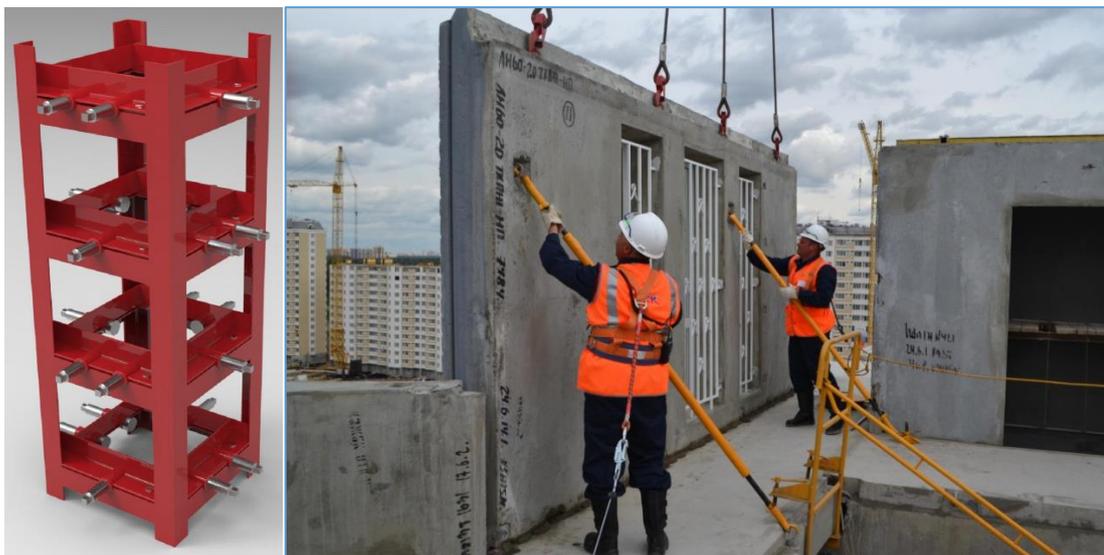


Рис. 5.9. Приспособления для выверки и временного закрепления конструкций



Рис. 5.10. Подмости для работы на высоте наземные и подвесные

Стыки, образуемые при окончательном закреплении элементов зданий и сооружений, относительно друг друга подразделяются (рис. 5.11):

- ✓ *Монолитные безарматурные*, устраиваемые между блоками фундамента, плитами перекрытия и покрытия (стык выполняется заполнением пространства между элементами цементным раствором);
- ✓ *Монолитные на выпусках арматуры* (арматурные выпуски элементов соединяются между собой, далее стык замоноличивается);
- ✓ *Сварные на закладных деталях* (металлические пластины или уголки привариваются к закладным деталям соединяемых элементов);
- ✓ *Болтовые*.



Рис. 5.11. Стыки между сборными элементами

По восприятию расчетных усилий стыки бывают:

1. Воспринимающие расчетные усилия – воспринимают все усилия, передаваемые одним элементом другому (стыки колонн с фундаментами, колонн друг с другом, балок, ферм, ригелей с колоннами).
2. Невоспринимающие расчетные усилия – не воспринимают усилия, передаваемые одним элементом другому (швы между плитами перекрытия и покрытия).

5.4. Обзор зданий, построенных из сборных элементов, изготовленных с применением 3D-печати

Разберем подробнее проекты, реализованные по рассматриваемой технологии. В 2014 году компанией Winsun были построены 10 стандартных домов площадью 195 м². Компания использовала порталный 3D-принтер с размерами 150x10x6(h) м с технологией выдавливания

материала (высокопрочного бетонного раствора, армированного специальным стеклопластиком) для предварительной печати основных отдельных элементов здания вне строительной площадки. Далее конструкции были доставлены и смонтированы на строительной площадке на традиционных фундаментах с дополнительной конструкционной арматурой из стали (рис. 5.12).



Рис. 5.12. Здание, построенное китайской компанией WinSun в 2014 году

В 2015 году был реализован проект по строительству пятиэтажного жилого здания площадью 1100 м² вместе с внутренней отделкой (рис. 5.13). Компания напечатала стены и другие элементы конструкций вне строительной площадки за один день и потом смонтировала их между собой на строительной площадке за два дня с помощью трех рабочих.



Рис. 5.13. 5-ти этажное жилое здание, построенное компанией WinSun в 2015



Рис. 5.14. Офисный комплекс, построенный в г. Дубай в 2016

В мае 2016 года в Дубае был построен офисный комплекс площадью 250 м² с помощью 3D-принтера, расположенный рядом с Дубайским международным финансовым центром (рис. 5.14). Портальный 3D-принтер компании WinSun размерами 36x12x6(h) м и принтеры меньшего размера использовались для создания офисов, что заняло в общей сложности 17 дней. Отдельные элементы были напечатаны в Шанхае, Китае, на фабрике WinSun, а после отправлены и смонтированы уже в Дубае, ОАЭ. При строительстве было задействовано 19 человек: 1 оператор 3D-принтера,

который следил за процессом печати, 8 монтажников, занимающихся сборкой здания, 10 рабочих, занимавшихся специальными работами (электроснабжение, вентиляция и т.п.).

Примеры успешно реализованных проектов строительства зданий из элементов, изготовленных с применением 3D-печати, свидетельствуют о целесообразности использования и перспективности данной технологии.

Контрольные вопросы для самопроверки по Главе 5

1. Основные отличия монолитной и сборной технологии строительства.
2. Преимущества и недостатки организации производства элементов в цеху, расположенном на достаточном удалении от места строительства.
3. Преимущества и недостатки организации производства элементов на строительной площадке или расположенном рядом со строительством приобъектном полигоне.
4. Виды конструктивных элементов зданий, которые можно изготовить с применением 3D-печати.
5. Классификация процессов, выполняемых при строительстве зданий и сооружений из сборных элементов.
6. Особенности доставки элементов, изготовленных с применением 3D-печати.
7. Особенности складирования элементов, изготовленных с применением 3D-печати.
8. Укрупнительная сборка элементов, изготовленных с применением 3D-печати.
9. Временное усиление элементов, изготовленных с применением 3D-печати.
10. Способы монтажа сборных элементов в проектное положение.
11. Типы строительных кранов, применяемых для монтажа сборных элементов.

12. Виды грузозахватных приспособлений для монтажа сборных элементов.
13. Приспособления для выверки временного крепления сборных элементов.
14. Типы стыков, устраиваемых между смонтированными элементами зданий и сооружений.
15. Примеры успешно реализованных проектов строительства зданий из элементов, изготовленных с применением 3D-печати.

ГЛАВА 6. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

6.1. Требования к организационно-технологическому проектированию строительства объектов с применением аддитивных технологий

Проект организации строительства (ПОС) объекта разрабатывается на полный объем строительства, предусмотренный проектом.

При строительстве объекта по очередям проект организации строительства на первую очередь должен разрабатываться с учетом осуществления строительства на полное развитие.

Исходными материалами для разработки проекта организации строительства являются:

- технико-экономические обоснования строительства или технико-экономические расчеты, обосновывающие хозяйственную необходимость и экономическую целесообразность строительства данного объекта, и задание на его проектирование;

- материалы инженерных изысканий (при реконструкции объектов - материалы их предпроектного технического обследования) и данные режимных наблюдений на территориях, подверженных неблагоприятным природным явлениям и геологическим процессам;

- плановые или нормативные документы, устанавливающие сроки строительства;

- согласованные генеральной подрядной и субподрядной организациями решения по применению материалов и конструкций, средств механизации строительно-монтажных работ, порядку обеспечения строительства энергетическими ресурсами, водой, временными инженерными сетями, а также местными строительными материалами;

- сведения об условиях поставки и транспортирования с предприятий - поставщиков строительных конструкций, готовых изделий, материалов и оборудования;

- специальные требования к строительству сложных и уникальных объектов;

- сведения об условиях производства строительного-монтажных работ на реконструируемых объектах;

- объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений и принципиальные технологические схемы основного производства подлежащего строительству объекта (его очереди) с разбивкой на пусковые комплексы и узлы;

- сведения об условиях обеспечения кадрами строителей;

- сведения об условиях обеспечения строительства транспортом, в том числе для доставки строителей от места проживания к месту работы;

- данные о дислокации и мощностях общестроительных и специализированных организаций и условиях их перебазирования;

- данные о наличии производственной базы строительной индустрии и возможностях ее использования;

- сведения об условиях обеспечения строителей питанием, жилыми и культурно-бытовыми помещениями;

- мероприятия по защите территории строительства от неблагоприятных природных явлений и геологических процессов и этапность их выполнения;

- сведения об условиях строительства, предусмотренных контрактами с иностранными фирмами.

В проекте организации строительства должны быть отражены вопросы опережающего развития производственной базы строительной организации и строительства объектов жилищного и социально-бытового назначения и коммунального хозяйства, необходимых для нужд строительства данного объекта и обеспечения эксплуатационных кадров.

Проект организации строительства на объекты капитального строительства производственного и непроизводственного назначения должен содержать

в текстовой части:

- характеристику района по месту расположения объекта капитального строительства и условий строительства;
- оценку развитости транспортной инфраструктуры;
- сведения о возможности использования местной рабочей силы при осуществлении строительства;
- перечень мероприятий по привлечению для осуществления строительства квалифицированных специалистов, в том числе для выполнения работ вахтовым режимом;
- характеристику земельного участка, предоставленного для строительства, обоснование необходимости использования для строительства земельных участков вне земельного участка, предоставляемого для строительства объекта капитального строительства;
- описание особенностей проведения работ в условиях действующего предприятия, в местах расположения подземных коммуникаций, линий электропередачи и связи – для объектов производственного назначения;
- описание особенностей проведения работ в условиях стесненной городской застройки, в местах расположения подземных коммуникаций, линий электропередачи и связи – для объектов непроизводственного назначения;
- обоснование принятой организационно-технологической схемы, определяющей последовательность возведения зданий и сооружений, инженерных и транспортных коммуникаций, обеспечивающей соблюдение установленных в календарном плане строительства сроков завершения строительства (его этапов);
- перечень видов строительных и монтажных работ, ответственных конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения,

подлежащих освидетельствованию с составлением соответствующих актов приемки перед производством последующих работ и устройством последующих конструкций;

- технологическую последовательность работ при возведении объектов капитального строительства или их отдельных элементов;

- обоснование потребности строительства в кадрах, основных строительных машинах, механизмах, транспортных средствах, в топливе и горюче-смазочных материалах, а также в электрической энергии, паре, воде, временных зданиях и сооружениях;

- обоснование размеров и оснащения площадок для складирования материалов, конструкций, оборудования, укрупненных модулей и стендов для их сборки. Решения по перемещению тяжеловесного негабаритного оборудования, укрупненных модулей и строительных конструкций;

- предложения по обеспечению контроля качества строительных и монтажных работ, а также поставляемых на площадку и монтируемых оборудования, конструкций и материалов;

- предложения по организации служб геодезического и лабораторного контроля;

- перечень требований, которые должны быть учтены в рабочей документации, разрабатываемой на основании проектной документации, в связи с принятыми методами возведения строительных конструкций и монтажа оборудования;

- обоснование потребности в жилье и социально-бытовом обслуживании персонала, участвующего в строительстве;

- перечень мероприятий и проектных решений по определению технических средств и методов работы, обеспечивающих выполнение нормативных требований охраны труда;

- описание проектных решений и мероприятий по охране окружающей среды в период строительства;

- обоснование принятой продолжительности строительства объекта капитального строительства и его отдельных этапов;

- перечень мероприятий по организации мониторинга за состоянием зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости от строящегося объекта, земляные, строительные, монтажные и иные работы на котором могут повлиять на техническое состояние и надежность таких зданий и сооружений;

в графической части:

- календарный план строительства, включая подготовительный период, в котором определяются сроки и очередность строительства основных и вспомогательных зданий и сооружений, технологических узлов и этапов работ, пусковых или градостроительных комплексов с распределением капитальных вложений и объемов строительно-монтажных работ по зданиям и сооружениям и периодам строительства (таблица 2);

- строительные генеральные планы для подготовительного (при необходимости) и основного периодов строительства с расположением постоянных зданий и сооружений, мест размещения временных, в том числе мобильных (инвентарных) зданий и сооружений, постоянных и временных железных и автомобильных дорог и других путей для транспортирования оборудования (в том числе тяжеловесного и крупногабаритного), конструкций, материалов и изделий; путей для перемещения кранов большой грузоподъемности; инженерных сетей, мест подключения временных инженерных коммуникаций (сетей) к действующим сетям с указанием источников обеспечения стройплощадки электроэнергией, водой, теплом, паром; складских площадок; основных монтажных кранов и других строительных машин, механизированных установок; существующих и подлежащих сносу строений, мест расположения знаков закрепления разбивочных осей зданий и сооружений.

В случаях, когда организационными и техническими решениями охватывается территория за пределами площадки строительства, кроме строительного генерального плана разрабатывается также ситуационный план строительства с расположением предприятий материально-технической базы и карьеров, жилых поселков, внешних путей и дорог (с указанием их длины и пропускной способности), станций примыкания к путям МПС, речных и морских причалов, линий связи и электропередачи, с транспортными схемами поставки строительных материалов, конструкций, деталей и оборудования, с нанесением границ территории возводимого объекта и примыкающих к ней участков существующих зданий и сооружений, вырубки леса, участков, временно от-водимых для нужд строительства.

Ведомость объемов основных строительных, монтажных и специальных строительных работ, определенных проектной документацией, с выделением работ по основным зданиям и сооружениям, пусковым или градостроительным комплексам и периодам строительства целесообразно представлять по форме (таблица 3).

Ведомость потребности в строительных конструкциях, изделиях, материалах и оборудовании с распределением по календарным периодам строительства, составляемую на объект строительства в целом и на основные здания и сооружения исходя из объемов работ и действующих норм расхода строительных материалов имеет вид таблица 4.

Таблица 2

Календарный план строительства (наименование объекта)

№ п/п	Наименование отдельных зданий, сооружений или видов работ (с выделением пускового или градостроительного комплекса)	Сметная стоимость, тыс. руб.		Распределение капитальных вложений и объемов строительномонтажных работ по периодам строительства (кварталам, годам), тыс. руб.
		всего	в том числе объем строительномонтажных работ	
1	2	3	4	5
1				
2				

Примечания: 1. Номенклатура по графе «2» устанавливается в зависимости от вида и особенностей строительства. 2. В графе «5» показатели приводятся в виде дроби: в числителе - объем капитальных вложений, в знаменателе - объем строительномонтажных работ (для жилищно-гражданских объектов дается по месяцам).

Таблица 3

Ведомость объемов основных строительных, монтажных и специальных строительных работ

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Объем строительномонтажных работ		
			всего	в том числе по отдельным зданиям, сооружениям, пусковым или градостроительным комплексам	по периодам строительства
1					
2					
3					

Примечания: 1. Перечень работ устанавливается в зависимости от вида и особенностей строительства. 2. Применение комплектно-блочного метода строительства и монтажа строительных конструкций и оборудования укрупненными блоками должно быть выделено.

Таблица 4

Ведомость потребности в строительных конструкциях, изделиях, материалах и оборудовании

№ строки	Наименование	Ед. измерения	Всего по строительству	В том числе по основным объектам	В том числе по календарным периодам строительства
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

Примечания: 1. Номенклатура конструкций, изделий, материалов и оборудования (графа 2) должна быть определена в зависимости от вида и особенностей строительства. 2. Потребность в материалах показывается дробью: в числителе - общая потребность, в знаменателе - потребность, за исключением материалов для изготовления конструкций и изделий на предприятиях строительной индустрии. 3. Распределение потребности в ресурсах (графа 5) должно предусматривать обеспечение ресурсами выделяемых пусковых комплексов, а также необходимый задел на будущие периоды строительства.

График потребности в основных строительных машинах и транспортных средствах по строительству в целом составляется на основе физических объемов работ, объемов грузоперевозок и норм выработки строительных машин и средств транспорта.

В графике должна быть учтена потребность в автобусах или специально оборудованных транспортных средствах для перевозки людей к объектам строительства, расположенным вне сферы обслуживания сети общественного транспорта.

График потребности в кадрах строителей по основным категориям составляется на основе нормативной трудоемкости строительства объекта и объемов строительно-монтажных работ по основным организациям, участвующим в строительстве, с учетом плановых норм выработки на одного работающего этих организаций, включая работников обслуживающих и прочих хозяйств.

Обоснования всех потребностей и затрат должны содержать решения по источникам их покрытия.

В проекте организации строительства необходимо приводить технико-экономические показатели, в том числе:

- общую продолжительность строительства, включая продолжительность подготовительного периода и периода монтажа оборудования, мес. (для промышленного строительства), общую продолжительность строительства, в том числе продолжительность подготовительного периода, подземной части, надземной части и отделки (для жилых зданий);

- максимальную численность работающих, чел;

- затраты труда на выполнение строительно-монтажных работ, чел.-дни.

Проект производства работ (далее ППР) разрабатывается на возведение здания или сооружения в целом, на строительство их

отдельных частей, на производство отдельных сложных видов строительных, монтажных и специальных строительных работ, а также на выполнение подготовительного периода.

Проекты производства работ на строительство новых, реконструкцию и снос зданий и сооружений разрабатываются генеральными подрядными строительными-монтажными организациями. На отдельные виды общестроительных, монтажных и специальных строительных работ проекты производства работ разрабатываются организациями, выполняющими эти работы.

Проекты производства работ по заказу генеральной подрядной или субподрядной строительной-монтажной организации могут разрабатываться проектными, проектно-конструкторскими и проектно-технологическими организациями.

Проект производства работ утверждается главным инженером генеральной подрядной строительной-монтажной организации, а проекты на отдельные виды монтажных и специальных строительных работ – главным инженером соответствующей субподрядной организации по согласованию с генеральной подрядной строительной-монтажной организацией.

Проект производства работ на реконструкцию действующего предприятия, здания и сооружения согласовывается с администрацией этого предприятия.

Проекты производства работ могут разрабатываться в полном и неполном объеме.

Проект производства работ в полном объеме должен разрабатываться:

- при любом строительстве на городской территории;
- при любом строительстве на территории действующего предприятия;

- при строительстве в сложных природных и геологических условиях, а также технически особо сложных объектов – по требованию органа, выдающего разрешение на строительство или на выполнение строительно-монтажных и специальных работ.

В остальных случаях ППР может разрабатываться в неполном объеме. Степень детализации документов, разрабатываемых в проекте производства работ, устанавливается соответствующей подрядной строительно-монтажной организацией, исходя из специфики и объема выполняемых работ.

Состав и содержание проектов производства работ должны соответствовать требованиям пункта 5.7.5. СП 48.13330.

Проект производства работ в полном объеме включает в себя:

- календарный план производства работ по объекту;
- строительный генеральный план;
- график поступления на объект строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования;
- график движения рабочих кадров по объекту;
- график движения основных строительных машин по объекту;
- технологические карты на выполнение видов работ;
- схемы размещения геодезических знаков;
- пояснительную записку, содержащую решения по производству геодезических работ, решения по прокладке временных сетей водо-, тепло-, энергоснабжения и освещения строительной площадки и рабочих мест; обоснования и мероприятия по применению мобильных форм организации работ, режимы труда и отдыха; решения по производству работ, включая зимнее время; потребность в энергоресурсах; потребность и привязка городков строителей и мобильных (инвентарных) зданий; мероприятия по обеспечению сохранности материалов, изделий, конструкций и оборудования на строительной площадке; природоохранные мероприятия;

мероприятия по охране труда и безопасности в строительстве; технико-экономические показатели.

Проект производства работ в неполном объеме включает в себя:

- график производства работ по объекту;
- строительный генеральный план;
- технологические карты на выполнение отдельных видов работ (по согласованию с заказчиком);
- схемы размещения геодезических знаков;
- пояснительную записку, содержащую основные решения, природоохранные мероприятия; мероприятия по охране труда и безопасности в строительстве.

Рекомендуемый состав проекта производства работ на возведение зданий (сооружений) и их частей, отдельных видов работ и подготовительный период приведен в таблице 5.

Таблица 5

Рекомендуемый состав разрабатываемого проекта производства работ

Наименование документа	Наименование объекта проектирования		
	здание, сооружение и его часть	отдельный вид работ	подготовительный период
1	2	3	4
Календарный план производства работ (или комплексный сетевой график)	+	+	+
Строительный генеральный план	+	+	+
График поступления на объект строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования	+	+	+
График движения рабочих кадров по объекту	+	-	-
График движения основных строительных машин по объекту	+	-	-
Технологические карты на выполнение видов работ	+	+	+
Схемы размещения геодезических знаков	+	+	+
Пояснительная записка, в том числе:	решения по производству геодезических работ;	+	+
	решения по прокладке временных сетей;	+	-
	решения по технике безопасности;	+	-
		+	-

природоохранные мероприятия.	+	-	+
------------------------------	---	---	---

Исходными материалами для разработки проектов производства работ являются:

- задание на разработку, выдаваемое строительной организацией как заказчиком проекта производства работ, с обоснованием необходимости разработки его на здание (сооружение) в целом, его часть или вид работ и с указанием сроков разработки;

- проект организации строительства;

- необходимая рабочая документация;

- условия поставки конструкций, готовых изделий, материалов и оборудования, использования строительных машин и транспортных средств, обеспечения рабочими кадрами строителей по основным профессиям, применения бригадного подряда на выполнение работ, производственно-технологической комплектации и перевозки строительных грузов, а в необходимых случаях также условия организации строительства и выполнения работ вахтовым методом;

- материалы и результаты технического обследования действующих предприятий, зданий и сооружений при их реконструкции, а также требования к выполнению строительных, монтажных и специальных строительных работ в условиях действующего производства.

Проекты производства работ разрабатываются по рабочей документации и их решения не должны иметь отступления от решений проекта организации строительства без согласования с организациями, разработавшими и утвердившими его.

В содержание документов проекта производства работ на возведение здания, сооружения или его части включается:

- а) календарный план производства работ по объекту или комплексный сетевой график, в которых устанавливаются последовательность и сроки выполнения работ с максимально возможным

их совмещением, а также нормативное время работы строительных машин, определяется потребность в трудовых ресурсах и средствах механизации, выделяются этапы и комплексы работ, поручаемые бригадам (в том числе работающим по методу бригадного подряда) и определяется их количественный, профессиональный и квалификационный состав (таблица б);

б) строительный генеральный план с указанием: границ строительной площадки и видов ее ограждений, действующих и временных подземных, наземных и воздушных сетей и коммуникаций, постоянных и временных дорог, схем движения средств транспорта и механизмов, мест установки строительных и грузоподъемных машин с указанием путей их перемещения и зон действия, размещения постоянных, строящихся и временных зданий и сооружений, мест расположения знаков геодезической разбивочной основы, опасных зон, путей и средств подъема работающих на рабочие ярусы (этажи), а также проходов в здания и сооружения, размещения источников и средств энергообеспечения и освещения строительной площадки с указанием расположения заземляющих контуров, мест расположения устройств для удаления строительного мусора, площадок и помещений складирования материалов и конструкций, площадок укрупнительной сборки конструкций, расположения помещений для санитарно-бытового обслуживания строителей, питьевых установок и мест отдыха, а также зон выполнения работ повышенной опасности. На просадочных грунтах водоразборные пункты, временные сооружения и механизированные установки с применением мокрых процессов должны размещаться на строительной площадке с низкой по рельефу местности стороны от зданий и сооружений, а площадки вокруг них должны быть спланированы с организованным быстрым отводом воды.

Таблица 6

Календарный план производства работ по объекту (виду работ)

Наименование работ	Объем работ		Загрузки груза, чел.-дн.	Требуемые машины		Продолжительность работы, дн	Число смен	Численность рабочих в смену	Состав бригады	График работ (дни, месяцы)
	единица измерения	количество		наименование	число маш.-смен					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

в) графики поступления на объект строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования (таблица 7) с данными о поступлении этих ресурсов по каждой подрядной бригаде и с приложением комплектовочных ведомостей (при наличии службы производственно-технологической комплектации - унифицированной документации по технологической комплектации), а в случаях строительства комплектно-блочным методом - графики комплектной поставки блоков;

Таблица 7

График поступления на объект строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования

Наименование строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования	Единица измерения	Количество	График поступления по дням, неделям, месяцам
1	2	3	4

г) графики движения рабочих кадров по объекту (таблица 8) и основных строительных машин по объекту (таблица 9).

Графики движения основных строительных машин следует разрабатывать с учетом своевременного выполнения каждой бригадой поручаемого ей комплекса работ. Потребность в основных строительных машинах на земляных работах следует определять исходя из условия

выполнения их преимущественно комплексными механизированными подрядными бригадами;

Таблица 8

График движения рабочих кадров по объекту

Наименование профессий рабочих (отдельно для генподрядной и субподрядной организации)	Численность рабочих	Среднесуточная численность рабочих по месяцам, неделям, дням			
		1	2	3	и т.д.
1	2	3			

Таблица 9

График движения основных строительных машин по объекту

Наименование	Единица измерения	Число машин	Среднесуточное число машин по дням, неделям, месяцам			
			1	2	3	и т.д.
1	2	3	4			

д) технологические карты на выполнение отдельных видов работ с включением схем операционного контроля качества, описанием методов производства работ, указанием трудозатрат и потребности в материалах, машинах, оснастке, приспособлениях и средствах защиты работающих, а также последовательности демонтажных работ при реконструкции предприятий, зданий и сооружений;

е) схемы размещения геодезических знаков для выполнения геодезических построений и измерений;

ж) пояснительная записка, содержащая:

- решения по производству геодезических работ с указанием необходимой точности технических средств геодезического контроля выполнения строительно-монтажных работ;

- решения по прокладке временных сетей водо-, тепло- и энергоснабжения, и освещения (в том числе аварийного) строительной площадки и рабочих мест с разработкой, при необходимости, рабочих чертежей подводки сетей от источников питания;

- обоснования и мероприятия по применению мобильных форм организации работ (вахтовой, экспедиционной, экспедиционно-вахтовой) и режимов труда и отдыха;

- обоснование решений по производству работ, в том числе выполняемых в зимнее время;

- потребность в энергетических ресурсах и решения по ее покрытию;

- перечень мобильных (инвентарных) зданий и сооружений и устройств с расчетом потребности и обоснованием условий привязки их к участкам строительной площадки в виде бытовых городков строителей;

- мероприятия, направленные на обеспечение сохранности и исключение хищения материалов, изделий, конструкций и оборудования на строительной площадке, в зданиях и сооружениях;

- мероприятия по защите действующих зданий и сооружений от повреждений, а также природоохранные мероприятия;

- решения по технике безопасности в составе, определенном СНиП 12-03-2001;

- технико-экономические показатели, включая объемы и продолжительность выполнения строительно-монтажных работ, а также их себестоимость в сопоставлении со сметной, уровень механизации и затраты труда на 1 м³ объема, 1 м² площади здания, на единицу физических объемов работ или иной показатель, принятый для определения производительности труда.

Содержание документов проекта производства работ на выполнение отдельных видов работ (монтажных, санитарно-технических, отделочных, геодезических и т.п.) должно состоять из календарного плана производства работ по виду работ, в котором выделяются этапы работ,

поручаемые бригадам, и определяется их количественный и профессионально-квалификационный состав; строительного генерального плана; технологической карты производства работ с приложением схемы операционного контроля качества, данных о потребности в основных материалах, конструкциях и изделиях, а также используемых машинах, приспособлениях и оснастке и краткой пояснительной записки с необходимыми обоснованиями и технико-экономическими показателями, кроме того, в состав проекта производства геодезических работ следует дополнительно включать: указания о точности и методах производства геодезических работ при создании разбивочной сети здания, сооружения и детальныx разбивках, схемы расположения пунктов разбивочной сети, монтажныx рисок, маяков и способы их закрепления, конструкции геодезических знаков, а также перечень исполнительной геодезической документации.

Содержание документов проекта производства работ на подготовительный период строительства должен содержать:

- а) календарный план производства работ по объекту (виду работ);
- б) строительный генеральный план с указанием на нем мест расположения временных, в том числе мобильных (инвентарных) зданий, сооружений и устройств, внеплощадочных и внутриплощадочных сетей с подводкой их к местам подключения и потребления, складских и монтажных площадок, временных внутрипостроечных дорог, а также постоянных объектов, возводимых в подготовительный период для нужд строительства, с выделением работ, выполняемых по ним в подготовительный период;
- в) график поступления на строительство необходимых на этот период строительных конструкций, изделий, основных материалов и оборудования;
- г) графики движения рабочих кадров и основных строительных машин;

д) технологические карты на выполнение видов работ;

е) схемы размещения знаков для выполнения геодезических построений, измерений, а также указания о необходимой точности и технических средствах геодезического контроля;

ж) пояснительную записку в объеме, предусмотренном ранее.

Основные положения по производству строительных и монтажных работ в составе рабочей документации типовых проектов предприятий, зданий и сооружений должны разрабатываться проектной организацией с обоснованием принятых методов организации и технологии выполнения основных видов работ с указаниями по производству работ в зимних условиях, с требованиями по технике безопасности, перечнем рекомендуемой монтажной оснастки, инвентаря и приспособлений. К указанным положениям должны прилагаться график производства работ с указанием физических объемов работ и затрат труда на их выполнение, схема строительного генерального плана на возведение надземной части здания (сооружения) и краткая пояснительная записка.

Для строительства зданий и сооружений с особо сложными конструкциями и методами производства работ проектные организации в составе рабочей документации должны разрабатывать рабочие чертежи на специальные вспомогательные сооружения, приспособления, устройства и установки, к которым относятся:

- оснастка и приспособления для транспортирования и монтажа (подъема, передвижки, сборки) уникального оборудования, негабаритных и тяжеловесных технологических, строительных и строительнотехнологических блоков;

- специальная опалубка сводов-оболочек, несъемная и скользящая опалубки;

- устройства для обеспечения работ по искусственному понижению уровня грунтовых вод, искусственному замораживанию

грунтов и закреплению их, в том числе способами цементации, глинизации, силикатизации, смолизации и термического закрепления;

- шпунтовые ограждения котлованов и траншей;
- устройства для крупноблочного монтажа оборудования и укрупнительной сборки конструкций;

- оснастка и специальные устройства для возведения подземных сооружений способом «стена в грунте», прокладки подземных трубопроводов методом продавливания грунта, возведения сооружений глубокого заложения на сваях-оболочках и с применением опускных колодцев, а также свайных фундаментов при наличии просадочных грунтов;

- защитно-предохранительные устройства при выполнении буровзрывных работ вблизи существующих зданий и сооружений;

- вспомогательные устройства, необходимые при передвижке и надстройке зданий, строительстве их в особо стесненных условиях, а также в случае реконструкции действующих предприятий, зданий, сооружений.

Для разработки указанной документации генеральной проектной организацией должны привлекаться специализированные проектные, проектно-конструкторские и проектно-технологические организации.

Контрольные вопросы для самопроверки по Главе 6

1. Группы документов нормативной базы проектирования
2. Примеры нормативных документов по организации строительства
3. Состав и содержание документации по организации строительства
4. Основные методы организации строительства предприятий, зданий и сооружений
5. Получение разрешения на строительство
6. Приемка строительной площадки
7. Состав проекта производства работ
8. Требования к содержанию проектов производства работ.

ГЛАВА 7. ТРЕБОВАНИЯ К КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА РАБОТ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

7.1. Входной, операционный и приемочный контроль качества работ, выполненных с помощью аддитивных технологий

При строительстве зданий и сооружений с применением аддитивных технологий несмотря на высокий уровень автоматизации необходимо выполнять контроль качества работ. Но, как и все, что касается применения аддитивных технологий в строительстве контроль качества имеет значительную специфику по сравнению с традиционным строительством. Рассмотрим три основных вида строительного контроля: входной, операционный и приемочный при строительстве с применением аддитивных технологий.

Входной контроль качества заключается в проверке строительных смесей, используемых для 3D-принтера. В данной области пока нет государственных стандартов, определяющих общие требования к данным смесям. Связано это в первую очередь с тем, что состав данных смесей напрямую зависит от устройства печатающей головки 3D-принтера, которая имеет различное устройство в зависимости от изготовителя 3D-принтера. Поэтому основным регламентирующим документом для строительных растворов, используемых для 3D-принтера, являются технические условия заводов изготовителя смесей для конкретных марок 3D-принтера.

Сейчас разработаны 3D-принтеры, которые способны печатать используя пластичные мелкозернистые бетонные смеси. В этом случае качество растворов можно проверять по существующим государственным стандартам для бетонных смесей, например, ГОСТ 7473-2010, но даже в этом случае для обеспечения непрерывности печати, сцепления слоев и быстрой схватываемости, в данные растворы добавляются различные присадки и модификаторы. Для решения обозначенной проблемы для

обеспечения качества используемых материалов для 3D-печати зданий – разработан государственный стандарт ГОСТ Р 59096 «Материалы для аддитивного строительного производства», в котором указаны основные принципы испытаний материалов, используемых в аддитивном производстве для подтверждения их качества.

Характеристики материалов исходных компонентов и материалов для аддитивного строительного производства должны быть установлены в нормативных документах и технической документации завода-изготовителя, соответствовать требованиям заказчика.

При входном контроле важно следить за приемкой готовой смеси на объекте – должны быть проверены все основные характеристики смеси перед подачи ее в приемный бункер принтера. А в случае приготовления смеси на стройплощадке необходимо контролировать приготовление согласно заданной программы. Приготовление на строительной площадке должно вестись только с помощью автоматизированных систем, позволяющих четко следовать необходимой рецептуре и карте подбора для выбранного типа смеси.

Для предотвращения дефектов имеет большое значение предварительная проверка образцов печати в лабораторных условиях. Перед печатью конструкций зданий и сооружений следует выполнять печать образцов кубов с последующей проверкой их характеристик (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость) в лаборатории.

Операционный контроль качества строительства с применением 3D-принтера состоит из следующих основных процессов:

- 1) Сборка каркаса и установка 3D-принтера;
- 2) Подача смеси в приемный бункер;
- 3) Процесс печати;
- 4) Соответствие печатаемых конструкций проектной модели здания.

Сборка и установка 3D-принтера должна выполняться по инструкции завода изготовителя, а также в соответствии с разработанной

технологической картой на данный процесс. Конструкция каркаса направляющих балок движения печатной головки должна охватывать пятно застройки и позволять напечатать все здание по высоте. Поэтому на процесс установки принтера на каждом объекте должна быть разработана технологическая карта.

При подаче смеси в приемный бункер необходимо контролировать непрерывность данного процесса.

Процесс печати – самый ответственный процесс. Здесь важно следить за следующими параметрами:

1) Не допускать «холодных» швов – каждый уложенный слой должен иметь сцепление с предыдущим. Данное требование может нарушаться по нескольким причинам:

- а) неправильно подобранный состав смеси;
- б) изменение технологического режима – резкое похолодание в ночное время, либо наоборот, резкое повышение температуры воздуха в жаркий солнечный день;
- в) непредвиденные простои печати.

2) Контролировать однородность экструзии – отсутствие воздухововлечения – наблюдается при уменьшении подвижности и увеличении жесткости бетонной смеси.

3) Не допускать сползания смеси укладываемого слоя с предыдущего – наблюдается при резком увеличении подвижности раствора.

Соответствие печатаемых конструкций проектной модели здания - в процессе печати важно контролировать соответствие направления и области печати конструкций проектной модели здания. Большой плюс аддитивного строительного производства в том, что процесс печати полностью автоматизирован и выполняется по заданной программе, которая заранее построена и апробирована на электронной модели. Но, как и у любой программы здесь могут случаться сбои, которые могут привести к несоответствиям напечатанного здания проектной модели.

Для того чтобы избежать таких дефектов следует вести операционный контроль печати здания, так и операционный контроль работы программного обеспечения 3D-принтера. Операционной контроль работы программного обеспечения ведет оператор 3D-принтера. Операционный контроль печати выполняет инженер.

Приемочный контроль качества строительства с применением 3D-принтера состоит из следующих основных процессов:

- 1) Проверка проектных свойств и характеристик напечатанных конструкций (прочность, герметичность, морозостойкость и т.д.);
- 2) Проверка положения и геометрических характеристик напечатанных конструкций;
- 3) Разработка и согласование комплекта исполнительной документации.

Проверка характеристик конструкций выполняется неразрушающими методами (ультразвуковой контроль, отрыв со скалыванием и т.п.), а также может быть выполнен разрушающий контроль в лаборатории с предварительным отбором образцов-кернов из конструкций.

Проверка положения и геометрических характеристик напечатанных конструкций может быть проверен следующими способами:

- 1) измерительными инструментами и различным геодезическим оборудованием;
- 2) с применением технологий 3D-сканирования здания;
- 3) с применением технологии фотограмметрии.

Аддитивное производство подразумевает обязательное наличие 3D-модели здания в проектной документации. Наличие 3D-модели позволяет применять технологии 3D-сканирования построенного объекта, по результатам которого получаем фактическую 3D-модель здания, которая затем накладывается на проектную и автоматически вычисляются отклонения от проектной 3D-модели. Сканирование здания выполняется с помощью специальных лазерных сканеров.

Еще один способ контроля заключается в выполнении фото- и видеосъемки построенного объекта, и затем на основании полученных фотографий в специализированном программном обеспечении создается фактическая 3D-модель здания с помощью технологий фотограмметрии. Данные технологии имеют высокую точность построения модели и могут использоваться для определения соответствия геометрических характеристик построенного объекта заданным в проекте значениям.

7.2. Применение цифрового информационного моделирования в строительном контроле

Первый этап – это получение информации из ЦИМ о завершении работ, которые подлежат сдаче-приемке.

Второй этап – Выполнение операций визуального и измерительного контроля

Третий этап – внесение информации о результатах контроля в ЦИМ

Четвертый этап – это анализ и согласование данных результатов контроля внутри ЦИМ

Порядок осуществления контроля качества с использованием ЦИМ:

1й этап - Определить набор измеряемых параметров качества. Определить набор параметров в зависимости от вида работ

2й этап - Результат измерения параметра привязать к элементу ЦИМ. Каждое измерение при инструментальном контроле должно быть идентифицировано и связано с конкретным элементом ЦИМ

3й этап - Дефекты должны быть привязаны к элементу ЦИМ с описанием и фотофиксацией. При выявлении дефектов и нарушений следует проводить привязку расположения данного дефекта к элементу ЦИМ

4й этап - Информацию о дефектах вносят в атрибуты элементов ЦИМ. Информацию о дефектах и нарушениях допускается вносить в атрибуты специальных элементов ИМ

Элемент ЦИМ должен иметь следующие атрибуты:

- 1) идентификатор основного элемента ЦИМ, к которому относится дефект
- 2) данные о лице, проводившем контроль, дата и время проведения контроля
- 3) номер (идентификатор) нарушения;
- 4) описание дефекта или нарушения.

Входной контроль качества с применением ТИМ в АСП выполняется следующим образом

1) Присвоить уникальный идентификатор каждой партии материалов. Идентификатор в случае длительного хранения должен быть также нанесен на партию принятого материала

2) Результат проверки внести в электронную форму ЦИМ

- техническая информация,
- дату поступления,
- лицо, ответственное за проведенный контроль,
- идентификатор

3) Приложить отсканированные документы или электронные документы

- сопроводительные документы,
- материалы фотофиксации, подтверждающие состояние внешнего вида,
- протоколы испытаний

Уникальные идентификаторы наносят на партию материалов:

- Штрих-код
- QR-код
- RFID-маркировка

Таким образом мы всегда можем считать уникальный идентификатор и узнать всю информацию о данной поставке материалов: дату, инженера принявшего материал, протоколы испытания, а также для какого вида работ предназначены данные материалы.

Проектировщик после разработки РД выполняет ее загрузку в ЦИМ, затем идет цикл согласования данной документации внутри информационной модели с помощью ТИМ, замечания к РД отправляют через ЦИМ, и каждый участник может отследить ход выполнения согласования документации.

После устранения всей документации простановка штампа «В производство работ» выполняется с помощью электронной подписи внутри информационной системы.

Также на данном этапе документации присваивается статус, который сохраняется за ней и может изменяться в процессе строительства. Для отслеживания статуса и появления изменений на документацию ставится QR-код, по которому всегда можно проверить информацию о данной версии документации.

Геодезический контроль качества с применением ТИМ выполняется со следующими особенностями:

1) Пункты ГРО должны быть внесены в ЦИМ

в виде элементов ЦИМ, содержащих атрибуты:

- фактические координаты,
- дата установки
- дата передачи
- дата поверки и т.п.

2) Затем в ЦИМ вносят Первичную информацию о геодезическом контроле

- массивы данных координат фактического положения любых точек
- (облака точек)

3) Идентификация точек фактического положения

- в результате камеральная обработка или автоматически для роботизированных измерительных приборов.

Лазерное сканирование.

Для определения фактического положения напечатанных конструкций применяют технологии лазерного сканирования. Лазерный сканер может быть установлен как снаружи так и внутри здания. Перед сканированием определяются точки сканирования и составляется маршрут. В каждой точке сканирования должны быть установлены геодезические марки, по которым сканер привязывается в пространстве к системе координат, поэтому важно чтобы все эти марки также были внесены в ЦИМ!

Исполнительная ЦИМ-модель.

Затем выполняется камеральная обработка полученного облако точек. Сканер фиксирует все объекты пространства вокруг себя: стойки опалубки, мусор, рабочих и так далее. Облако точек обрабатывают исключая лишний шум, и затем накладывают на 3D – модель здания. На втором этапе выполняется корректировка ЦИМ в части положения всех конструкций и инженерных сетей, таким образом получается фактическая исполнительная модель здания!

Фотограмметрическая съемка.

Для определения фактического положения конструкций зданий и сооружений используется фотограмметрическая съемка. На БПЛА – беспилотный летательный аппарат, в том числе знакомые вам квадрокоптеры, устанавливается фотокамера, прорабатывается маршрут полета вокруг нашего объекта, определяются точки стоянки, на которых будет выполняться фотосъемка объекта. На БПЛА также может быть установлен лазерный сканер и выполнено лазерное сканирование объекта. Что даст более высокую точность фактической модели.

Фотограмметрическая съемка.

Затем все выполненные фотографии загружаются в специальное ПО, в котором производится сшивание данных фотографий в одну единую модель. Создается облако точек по принципу как было в лазерном сканировании. Затем модель проходит через камеральную обработку, из нее убирают все лишнее. И полученную модель на следующем шаге накладывают на 3D-

модель здания и производят корректировку фактического положения конструкций, а также проверяют качество выполненных работ и отклонения от проекта. Таким образом получаем исполнительную модель здания!

А далее разберем как ТИМ используется в приемочном контроле в АСП

Приемочный контроль выполняется в три этапа:

1й этап - Заполнение электронной формы в ЦИМ

- лицо, проводившего освидетельствование
- даты
- фотофиксация

2й этап - Внесение в ЦИМ допущенных нарушений, дефектов

- с привязкой к конкретному элементу ЦИМ

3й этап - Внесение в ЦИМ результатов сдачи-приемки

Элементы ЦИМ должны иметь атрибуты:

- работы завершены
- конструкции сданы
- конструкции оплачены
- исполнительная документация сдана

Данный порядок ведения приемочного контроля позволит отслеживать ход выполнения и качество всего проекта всем участникам строительства. Вот на слайде вы видите отмечены какие конструкции сданы, по каким выданы замечания, и какие конструкции имеют критические дефекты. Так можно отслеживать состояние проекта и по другим атрибутам: например, какие конструкции выполнены на сегодняшнюю дату, какие конструкции оплачены заказчиком, по каким конструкциям выполнено подписание ИД! Помимо всего прочего, у каждой конструкции можно создавать отдельный атрибут: проблема/задача – который будет иметь уникальный код, привязываться к конкретной конструкции и сохранять всю историю решения данной проблемы/задачи. Информация от каждого участника записывается и сохраняется в электронную форму проблемы/задачи. В

виде проблемы/задачи – может быть, как предписание строительного контроля по качеству работ, так и предписание государственного надзора, так и замечание авторского надзора, информация о критическом отклонении положения конструкции измеренном геодезистом и так далее!

Контрольные вопросы для самопроверки по Главе 7

1. В чем состоит специфика строительного контроля конструкций, напечатанных на 3D-принтере?
2. Какие свойства смеси для 3D-печати строительных конструкций необходимо контролировать при входном контроле?
3. В каких документах указаны требуемые свойства смесей для 3D-печати строительных конструкций?
4. Назовите состав операционного контроля качества 3D-печати строительных конструкций?
5. В каком документе должна быть указана последовательность сборки конструкции 3D-принтера на стройплощадке?
6. Назовите состав приемочного контроля качества 3D-печати строительных конструкций?
7. Опишите технологию проверки геометрических характеристик конструкций с помощью 3D-сканирования и с применением технологий фотограмметрии?