

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	6
1.1. Виды и сущность аддитивных технологий. Основные термины и их определения.....	6
1.2. История развития технологий аддитивного производства в строительстве.....	14
1.3. Нормативная документация, регламентирующая применение аддитивных технологий в строительстве .....	16
1.4. Опыт применения аддитивных технологий при строительстве зданий и сооружений .....	17
Глава 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	21
2.1. Процесс создания 3D-моделей зданий и сооружения для строительства с применением аддитивных технологий.....	21
2.2. Особенности объемно-планировочных и конструктивных решений зданий, возводимых с применением аддитивных технологий.....	22
2.3. Проектирование 3D-модели строительных конструкций и строительных объектов для печати.....	24
2.4. Программы САПР, применяемые для проектирования и строительства с помощью аддитивных технологий.....	25
Глава 3. ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	28
3.1. Типы и конструктивные особенности 3D-принтеров, применяемых в строительстве .....	28
3.2. Основные производители 3D-принтеров в России.....	30
3.3. Основные зарубежные производители 3D-принтеров.....	34
3.4. Материалы, применяемые для 3D-печати строительных конструкций.....	35
3.5. Процесс печати элементов строительных конструкций с помощью 3D-принтера .....	38
Глава 4. 3D-ПЕЧАТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ .....	42
4.1. Методы и виды работ, выполняемых при строительстве зданий и сооружений.....	42
4.2. Подготовительные работы на строительной площадке .....	43
4.3. Строительство подземной части зданий или сооружений.....	45
4.4. Строительство надземной части зданий или сооружений с применением 3D-печати.....	47
Глава 5. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПЕЧАТИ.....	51
5.1. Организация производства элементов строительных конструкций с применением 3D-печати.....	51
5.2. Транспортные и вспомогательные процессы при строительстве зданий из элементов, изготовленных с применением 3D-печати .....	52
5.3. Монтаж элементов конструкций в проектное положение на строительной площадке .....	55
5.4. Обзор зданий, построенных из сборных элементов, изготовленных с применением 3D-печати.....	59
Глава 6. ТРЕБОВАНИЯ К КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА РАБОТ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	62
6.1. Входной, операционный и приемочный контроль качества работ, выполненных с помощью аддитивных технологий.....	62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	65

## 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 помощью которых можно существенно сократить время производственного цикла, повысить производительность труда, снизить материалоемкость продукции, потребление энергоресурсов и обеспечить выпуск изделий сложных конструкций с улучшенными свойствами, 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*) — метод создания трехмерной модели путем послойного сложения материала. Данный способ позволяет, постепенно добавляя материалы, наращивать необходимую форму для производства чего-либо. Разговорным названием аддитивных технологий принято считать термин «3D-печать».

Трехмерная, или 3D-печать, представляет собой послойное создание физического объекта по данным САД-модели (цифровой). Для печати используется специальное приспособление — 3D-принтер. Такое устройство в отличие от обычного принтера позволяет выводить трехмерные данные, то есть информацию сразу в трех измерениях по принципу поэтапного наращивания физической модели, как правило, снизу-вверх [12].

Особенности технологического процесса 3D-печати напрямую зависят от технологии аддитивного производства, лежащей в основе этого процесса. Методы и технологии, применяемые сегодня в трехмерной 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.

### 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 нагревает материал до температуры плавления и выдавливает расплавленную массу через сопло. Механизм работы экструдера должен обеспечивать перемещение печатающей головки (сопла) 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.

### 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, от 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 их создания) или отломать (при использовании одинакового материала для печати опор и модели). Общая схема построения изделия по технологии SLA представлена на рис. 1.3.

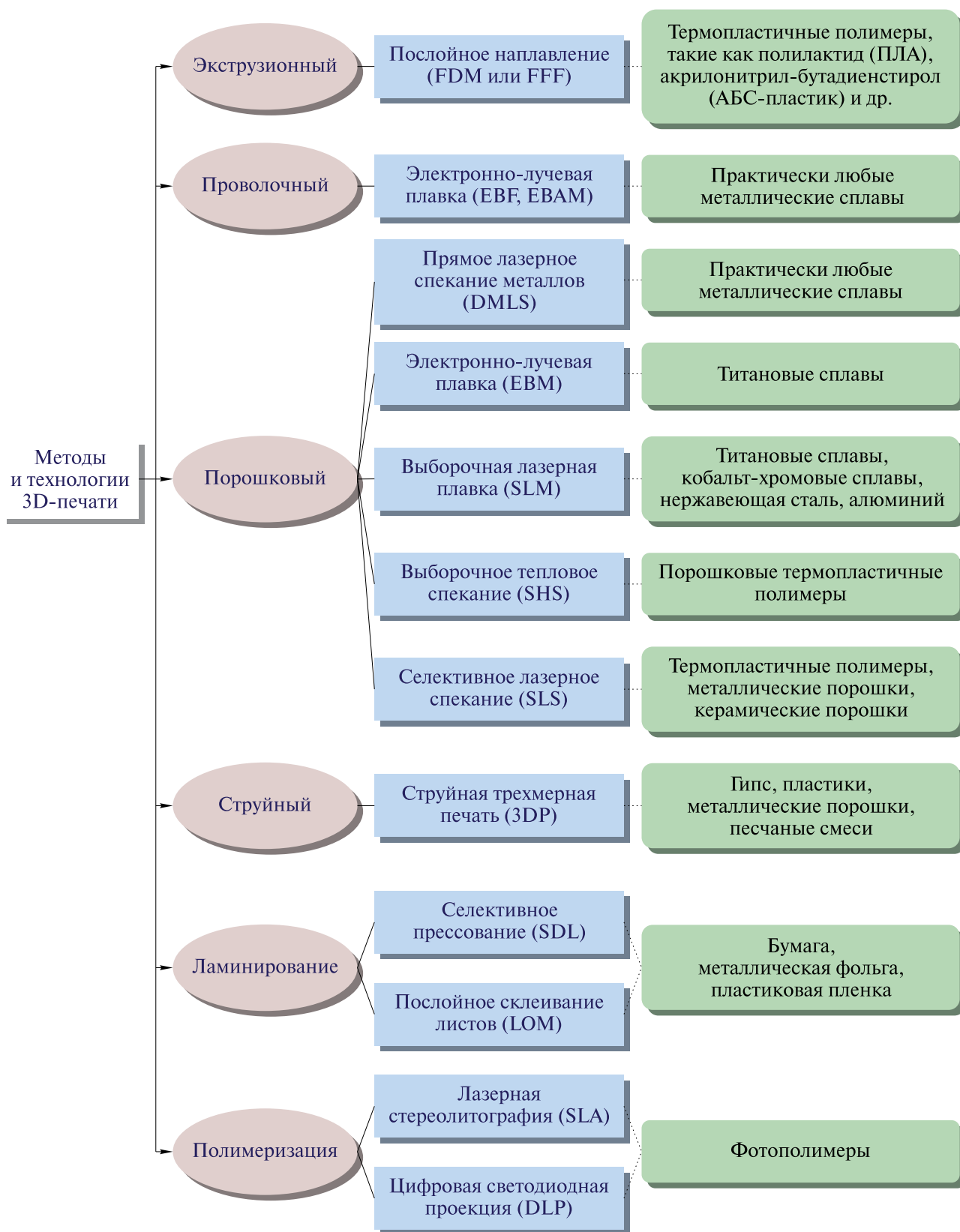


Рис. 1.1. Методы и технологии, применяемые в трехмерной печати

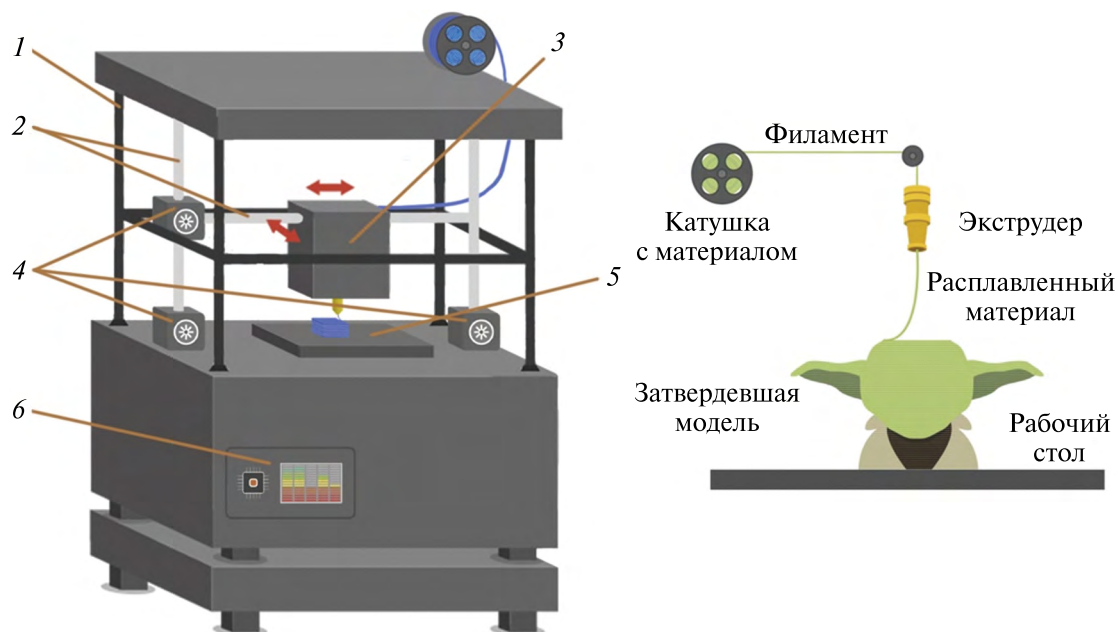


Рис. 1.2. Схема устройства 3D-принтера экструзивного типа:

1 — корпус; 2 — закрепленные на нем направляющие; 3 — печатающая головка; 4 — шаговые двигатели (мотор); 5 — рабочий стол (платформа); 6 — управляющая электроника

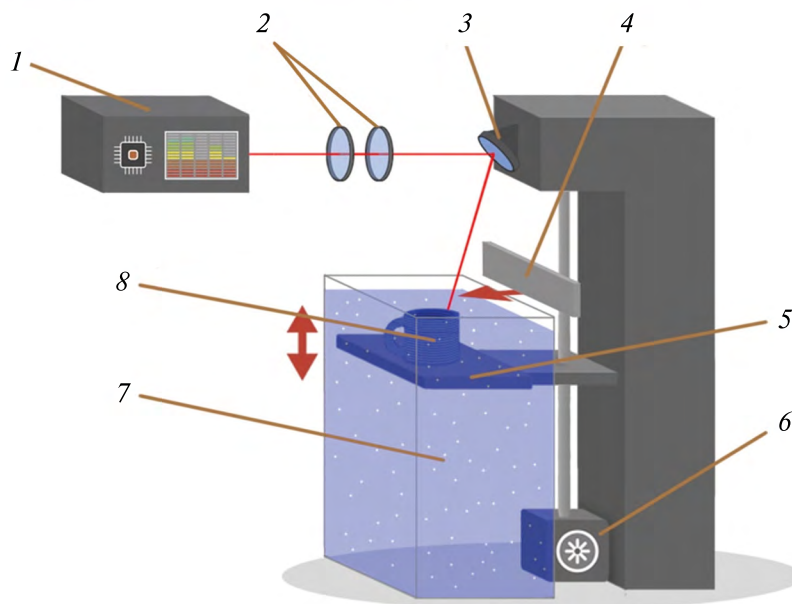


Рис. 1.3. Схема построения изделия по технологии SLA:

1 — лазер; 2 — линзы; 3 — сканирующее зеркало; 4 — свипер; 5 — рабочий стол (платформа); 6 — управляющая электроника (мотор); 7 — емкость с жидким полимером; 8 — изделие

*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 емкость 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.

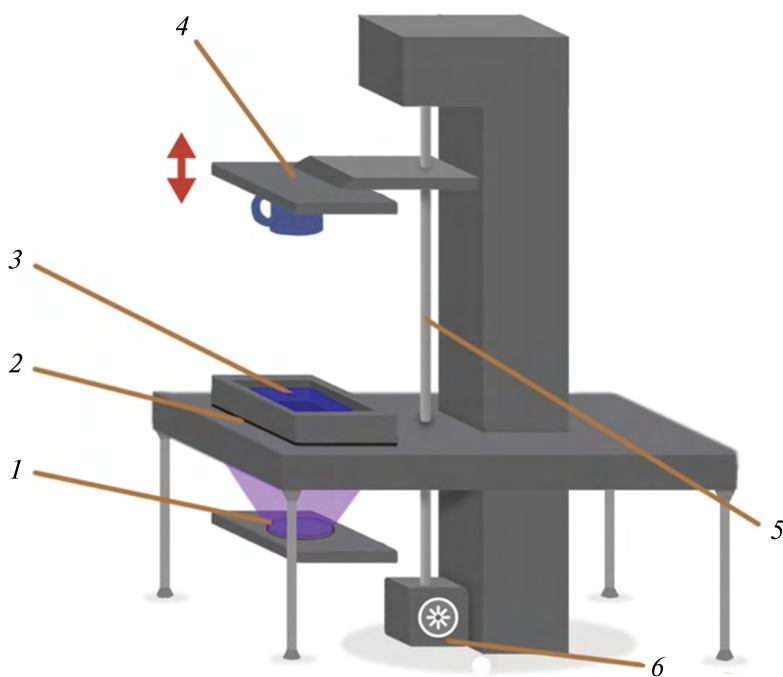


Рис. 1.4. Схема построения изделия по технологии DLP:

1 — проектор (источник ультрафиолета); 2 — матрица (микроскопические зеркала); 3 — фотополимер;  
4 — рабочий стол (платформа); 5 — ходовой винт; 6 — управляющая электроника (мотор)

### 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).

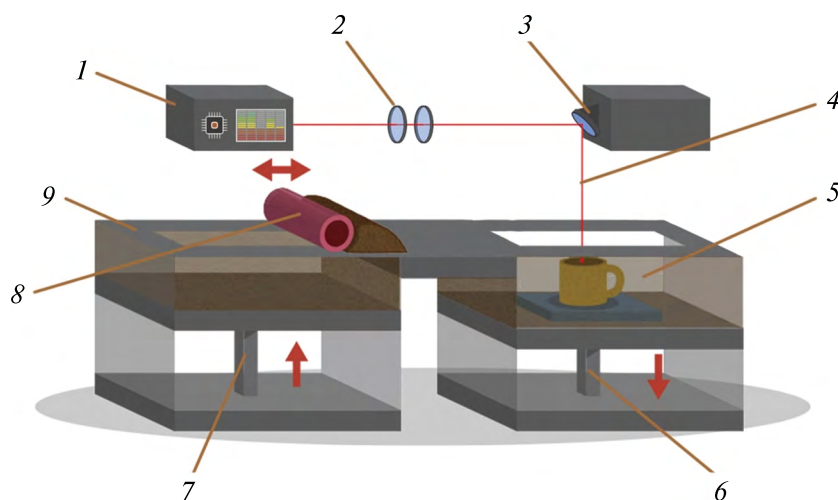


Рис. 1.5. Схема работы 3D-печати расплавлением порошкового материала:  
1 — лазер; 2 — линзы; 3 — сканирующее зеркало; 4 — луч лазера; 5 — емкость с порошком;  
6 — поршень для платформы; 7 — поршень для подачи порошка; 8 — выравнивающий валик;  
9 — емкость для подачи порошка

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 твердый слой, который соответствует сечению 3D-модели. Лазерное спекание может применяться при изготовлении формообразующих деталей для металлического и пластмассового литья. Изделия, полученные данным методом, значительно прочнее тех, что получены методами SLA или DLP.

Селективное лазерное плавление металлов (технология SLM, англ. *Selective Laser Melting*) основано 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 (мощностью 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 состоит 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. Он 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*) — электронно-лучевого производства изделий произвольной формы, разработанного NASA.

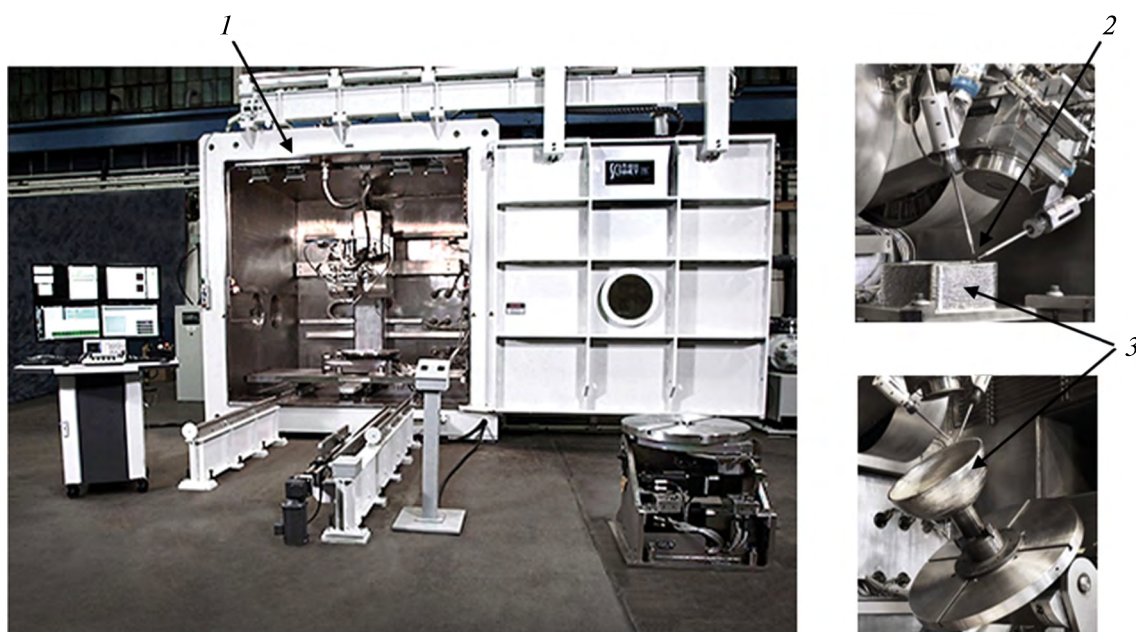


Рис. 1.6. Аддитивная система Sciaky EBAM 300:  
1 — вакуумная камера; 2 — титановый прут; 3 — изделие из металла

Самый большой в мире 3D-принтер по технологии электронно-лучевого наплавления представлен компанией Sciaky, на нем можно печатать титановые детали в объеме  $5791 \times 1219 \times 1219$  мм (рис. 1.6). 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 CAD-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.

Струйная трехмерная печать (технология 3DP, англ. *Three-Dimensional Printing*). В данной технологии впрыскиваемый материал является связующим веществом, которое выборочно распыляется в слой порошкового материала для создания одного слоя. Как и в других методах «порошковой» 3D-печати, после завершения одного слоя платформа опу-



скается 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).

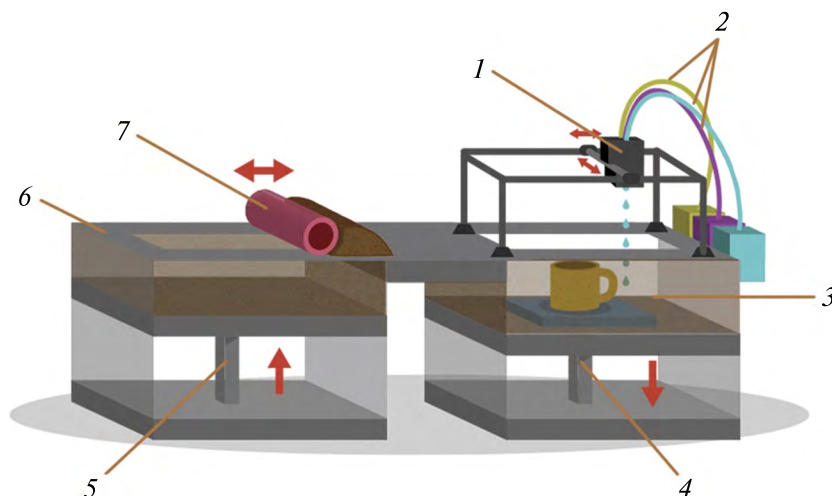


Рис. 1.7. Принцип работы струйной трехмерной печати:

1 — впрыскивающая головка; 2 — механизм подачи связующего вещества; 3 — емкость с порошком; 4 — поршень для платформы; 5 — поршень для подачи порошка; 6 — емкость для подачи порошка; 7 — выравнивающий валик

#### *Преимущества 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.

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 лишнего материала разрезается лазером на мелкие детали.
3. Готовый слой перемещается вниз на рабочей платформе, а 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.

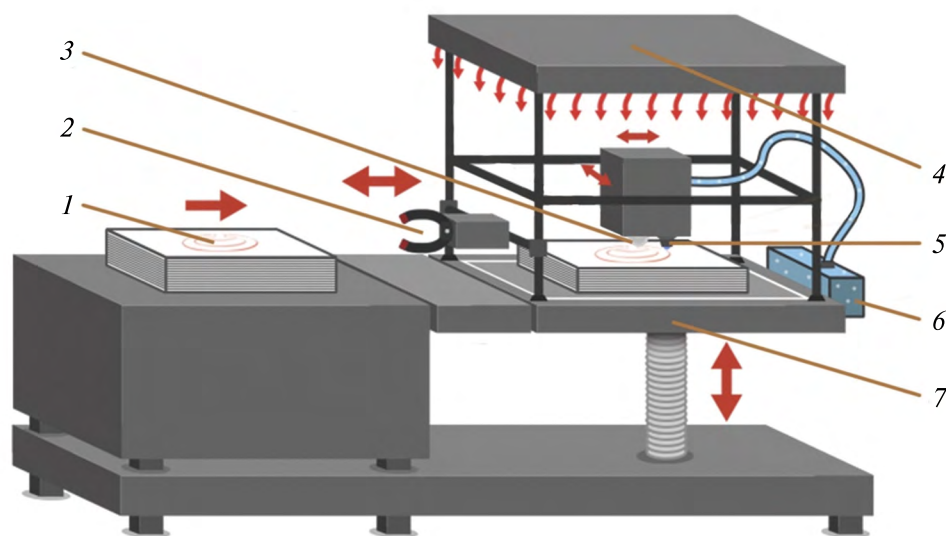


Рис. 1.8. Схема построения изделия методом ламинирования:

1 — бумажный материал; 2 — механизм подачи бумаги; 3 — вольфрам-карбидное лезвие; 4 — нагревающая пластина; 5 — клеящая головка; 6 — клей; 7 — рабочий стол (платформа)

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 уступают методам стереолитографии (SLA) или выборочному лазерному спеканию (SLS).

Подведем итоги обзора методов аддитивных технологий (АТ). Пожалуй, главное преимущество АТ состоит 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. Они 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 изучения 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. Ее основное преимущество заключается в использовании меньшего количества необходимого персонала и сокращении затрат на материалы [10; 11; 24].

Первый опыт автоматизации строительства был осуществлен Томасом Эдисоном при создании машины для непрерывного бетонирования зданий, запатентованной в 1917 году. В 1980-х годах японские инженеры создали механизм «The Big Canopy System», который состоял из 13-тонной платформы и конструкции корзины 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 свое 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 м<sup>2</sup> 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 профессора Саймона Остина с 2007 года проводит исследования использования 3D-печати в строительной отрасли, 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. Дини в настоящее время совместно с голландским архитектором Я. Рёйссенарсом 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 вещества 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 м<sup>2</sup> 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 работам в материалах и технологиях процессов за последние 30 лет была успешно осуществлена коммерческая реализация аддитивной технологии производства [13; 19; 35].

Подводя итоги анализа применения 3D-печати в строительстве, мы можем сформулировать основные преимущества и недостатки АТ.

*Преимущества:*

- + высокая скорость возведения зданий и сооружений;
- + возможность использования 3D-печати в стесненных условиях;
- + возможность предвидеть влияние определенных 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, склонных к землетрясениям и ураганам.

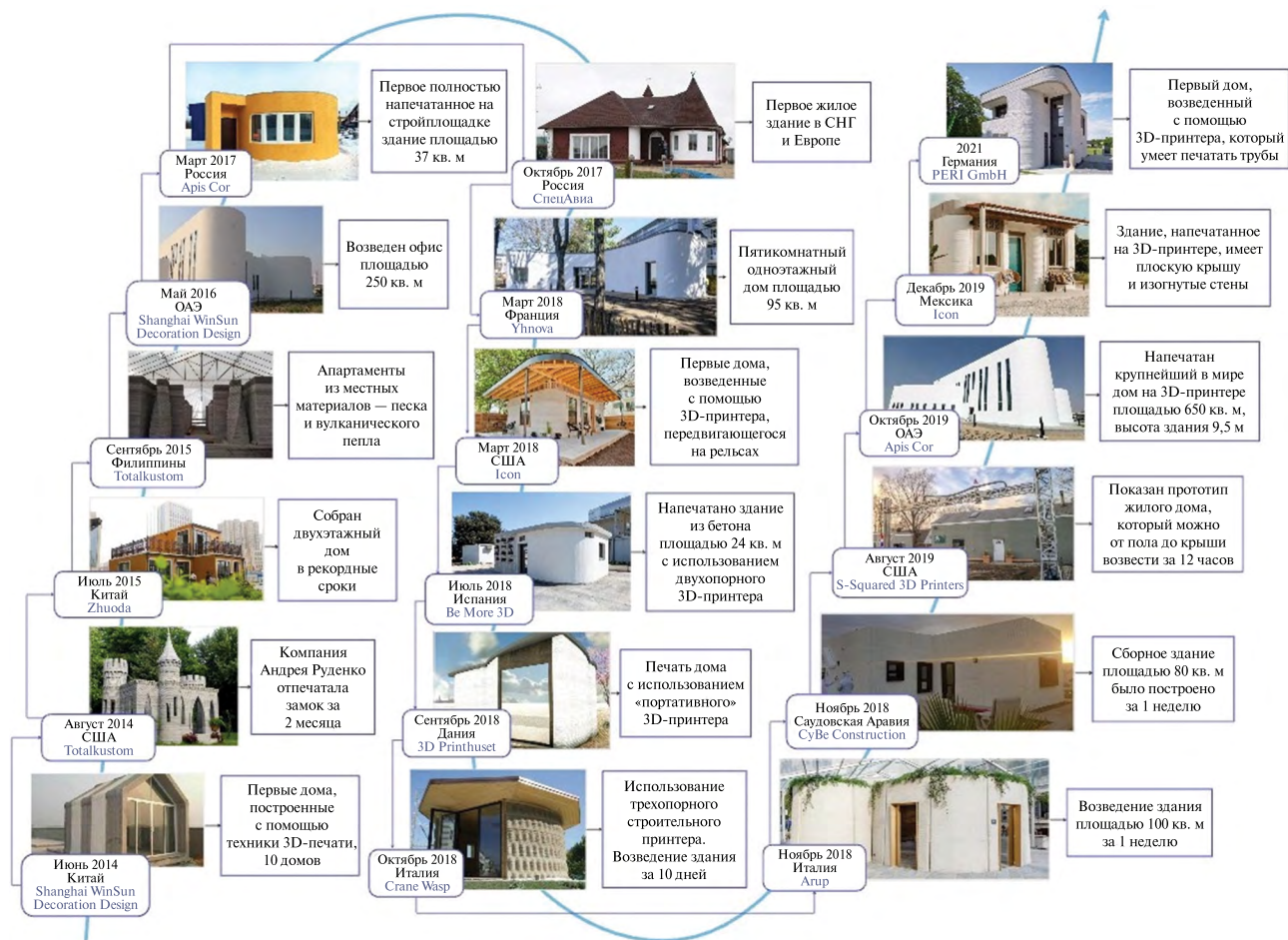


Рис. 1.9. История развития аддитивных технологий в строительстве

**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 [9].

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 промыш-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)