

Компаративный анализ вариантов строительства индивидуальных жилых домов из кирпича и методом 3D-печати

Comparative Analysis of Options for Construction of Individual Residential Houses From Brick and 3D-Print Method

УДК 338

Получено: 16.03.2022

Одобрено: 02.04.2022

Опубликовано: 25.04.2022

Ларионов А.Н.

Д-р экон. наук, профессор кафедры «Экономика и управление в строительстве» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва
e-mail: proflarionov@mail.ru

Larionov A.N.

Doctor of Economics, Professor of the Department of Economics and Management in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
e-mail: prolarionov@mail.ru

Ермакова В.С.

старший эксперт отдела благоустройства МБУ «Городское хозяйство», г. Москва
e-mail: ermakovcina99@mail.ru

Ermakova V.S.

Senior expert of the improvement department of the Municipal Budgetary Institution “Urban Economy”, Moscow
e-mail: ermakovcina99@mail.ru

Аннотация

В работе обоснована актуальность применения «умных» технологий в жилищном строительстве, как для мировой хозяйственной практики в жилищном строительстве в целом, так и для России, в частности. Во многом это обусловлено тем, что строительная сфера, являясь одной из самых масштабных отраслей национальных экономик, должна постоянно развиваться. А инструментом достижения этого развития является инновационный характер деятельности строительных организаций жилищного профиля. Кроме того, в публикации обосновано, что с целью увеличения своих конкурентных преимуществ субъекты жилищно-строительного рынка вынуждены предлагать своим клиентам строительные услуги, основанные на использовании «умных» технологий. Также «умные технологии» способны повысить качество жилищного строительства и сделать строительные площадки более безопасными. Далее представлено сравнение преимуществ и недостатков традиционного кирпичного домостроения и применения 3D-принтеров при ведении индивидуального жилищного строительства. В этих целях авторами осуществлено технико-экономическое обоснование выбора 3D-принтера и кирпича при строительстве двухэтажного коттеджа, построенного с помощью 3D-принтера и кирпича площадью $S=340$ кв. м.

Ключевые слова: компаративный анализ, жилищное строительство, малоэтажное жилье, кирпич, 3D-печать, оценка эффективности.

Abstract

The paper substantiates the relevance of the use of "smart" technologies in housing construction both for the world economic practice in housing construction in general and for Russia in particular. This is largely due to the fact that the construction industry, being one of the largest sectors of national economies, must constantly develop. And the tool for achieving this development is the innovative nature of the activities of housing construction organizations. In addition, the publication justifies that in order to increase their competitive advantages, the subjects of the housing construction market are forced to offer their customers construction services based on the use of "smart" technologies. Also, "smart technologies" can improve the quality of housing construction and make construction sites safer. The following is a comparison of the advantages and disadvantages of traditional brick housing construction and the use of 3D printers in individual housing construction. For this purpose, the authors carried out a feasibility study for the choice of a 3D printer and bricks in the construction of a two-story cottage built using a 3D printer and bricks with an area of $S = 340$ sq. m.

Keywords: comparative analysis, housing construction, low-rise housing, brick, 3D printing, performance evaluation.

В настоящее время тема применения «умных» технологий в малоэтажном жилищном строительстве весьма актуальна как для мировой практики в целом, так и для России, в частности. Во многом это обусловлено тем, что строительная сфера, являясь одной из самых масштабных отраслей национальных экономик, должна постоянно развиваться. А инструментом достижения этого развития является инновационный характер деятельности строительных организаций жилищного профиля.

Кроме того, необходимость реализации инновационной деятельности обусловлена высоким уровнем конкуренции на жилищно-строительном рынке. С целью увеличения своих конкурентных преимуществ его субъекты вынуждены предлагать своим клиентам строительные услуги, основанные на использовании «умных» технологий. Поскольку их применение позволяет строить более мощные, высокие и энергоэффективные жилые объекты. Также «умные технологии» способны повысить качество жилищного строительства и сделать строительные площадки более безопасными.

Следует подчеркнуть, что в то время когда строительные фирмы продолжают недоинвестировать в инновационные технологии, венчурные капиталисты делают большие ставки на будущее «умных» технологий в жилищном строительстве, в том числе и в малоэтажном.

В настоящей работе использованы результаты исследований Афитова Э.Ф. [1], Балашова В.Г. [2], Басовского Л.Е. [3], Бланка И.А. [4], Кутяка Т.В. [7], Пластининой Ю.В. [8] и пр. По их данным, технологии, которые еще 20 лет назад казались далеким будущим, становятся все более доступными и применяются на строительных объектах по всему миру.

Далее мы рассмотрим некоторые из них:

1. Информационное моделирование зданий (BIM) – это способ добавления и сохранения информации в проекте с момента его создания и вплоть до его завершения. За информационным моделированием здания стоит трехмерная модель, состоящая из информации о каждом из его компонентов. Она настолько скрупулезна и детальна, что охватывает все возможные способы, с помощью которых можно конкретизировать отдельные элементы. Если какой-либо элемент изменяется, программное обеспечение обновляет модель, чтобы отразить это изменение. Это позволяет модели оставаться последовательной и скоординированной на протяжении всего процесса, так что инженеры-строители, архитекторы, инженеры, дизайнеры, менеджеры проектов и

подрядчики могут принимать совместное участие в работе и отсаживании хода проекта. BIM также может охватывать эксплуатацию и управление зданиями с использованием данных, к которым владельцы зданий или сооружений имеют доступ. Это позволяет правительствам, муниципалитетам и управляющим недвижимостью принимать обоснованные решения на основе информации, полученной из модели, даже после того, как здание построено.

2. По-прежнему одной из самых перспективных инноваций в области строительных технологий, появившихся за последнее десятилетие, остается искусственный интеллект (ИИ). Благодаря «обучению» и выявлению паттернов, системы ИИ могут значительно улучшить многие аспекты процесса строительства, включая контроль состояния и безопасности персонала, управление ресурсами и непосредственно проектом в целом.

ИИ дает весьма значительные преимущества для повышения производительности труда при возведении строительных объектов. В то время как строительная отрасль борется с нехваткой рабочей силы и снижением производительности, ИИ помогает заполнить пробелы. Однако ИИ не является точной наукой и моделью естественного человеческого интеллекта. Поэтому ИИ помогает людям, а не заменяет их, особенно в жилищном строительстве, где каждый проект уникален и подвержен воздействию многих внешних факторов.

Дополнительным ограничивающим фактором для внедрения ИИ в жилищном строительстве является его стоимость. Использование автономных транспортных средств и робототехники может увеличить производительность, но это повлечет за собой большие затраты. Капитальные вложения в оборудование наряду с приобретением дополнительного опыта управления такого оборудования подразумевают крупные первоначальные инвестиции для компаний, большинство которых на данном этапе времени тратят только 1% дохода на технологии.

Несмотря на все трудности, ИИ в современном жилищном строительстве находится на подъеме. Подобно применению других инновационных технологий достижениям, компании, готовые совершить скачок в сторону ИИ, будут иметь преимущество перед конкурентами.

Беспилотные летательные аппараты используются для ежедневного проведения инспекций рабочих мест и выявления потенциальных опасностей, для фотографирования хода работ, для создания готовых моделей рабочих площадок, чтобы держать всех участников проекта в курсе меняющихся условий труда.

Благодаря своей способности картографировать огромные участки земли, дроны могут существенно сократить время изучения топографии участка. Это позволит не только обеспечить выполнение жилищного проекта согласно графику и в соответствии с бюджетом, но и обеспечить точность предпроектных этапов. Полученная информация также может помочь определить целесообразность того или иного жилищного проекта.

Кроме того, изображения с высоким разрешением, создаваемые беспилотными летательными аппаратами, могут быть преобразованы в 3D-модели, что позволяет точно определить проблемы на этапе предварительного строительства и выявить всевозможные дальнейшие ошибки, экономя время и деньги в долгосрочной перспективе.

Но отслеживание прогресса – это далеко не единственный способ использования дронов строительными компаниями жилищного профиля. Проводя менее часа в неделю на картографировании рабочего места, подрядчики получают доступ к беспрецедентному количеству знаний почти о каждом аспекте своего проекта.

Еще одной ценной особенностью беспилотных летательных аппаратов в жилищном строительстве является визуализация, которую они могут дать клиентам. Дроны могут производить впечатляющие аэрофотоснимки, позволяющие клиентам получить представление о ходе реализации проекта, особенно когда те физически не могут посетить объект. Это помогает им чувствовать уверенность в том, что их вложения используются эффективно.

Безопасность труда является одним из главных приоритетов многих строительных компаний. В частности, на долю падений приходится 39% случаев гибели рабочих. При проведении ручных измерений рабочим часто приходится подниматься на неустойчивую высоту и ориентироваться в опасных условиях. Дроны могут заменить рабочих в таких ситуациях и снизить риск, с которым сталкиваются рабочие на строительной площадке.

В частности, они могут быть использованы для планового обслуживания крупномасштабных сооружений, таких как мосты, башни и крыши, и строительные леса. Задача, для выполнения которой потребовалась бы целая команда специалистов, заняла бы всего несколько часов с использованием беспилотного летательного аппарата.

3. Автономное тяжелое оборудование, использующее аналогичную технологию как в самоуправляемых автомобилях, в настоящее время используется на рабочих местах для выполнения земляных работ, сортировки и строительных работ. Эта технология позволяет операторам находиться удаленно от машины, помогая компаниям выполнять тот же объем работы с меньшим количеством работников.

Эти машины используют датчики, беспилотные летательные аппараты и GPS для навигации по строительной площадке и проведения работ, основываясь на 3D-моделях местности, чтобы точно выполнить поставленную задачу и оценить участок. Дополненная система GPS, представляющая собой комбинацию локальных базовых станций и спутников, может использоваться для геозоны объекта и позволяет автономному оборудованию перемещаться по объекту с высокой точностью.

Концепция 3D-печати существует уже несколько десятилетий и имеет свою изрядную долю взлетов и падений, но, похоже, снова набирает обороты. Конструкции, использующие 3D-печать, строятся с помощью сверхразмерных принтеров с использованием специальных цементных смесей, которые толще бетона, поэтому отсутствует необходимость в применении опорных балок. Технологии 3D-печати раскрывают совершенно новые возможности, которые недоступны при традиционных методах строительства. Среди его преимуществ можно выделить (рис. 1):

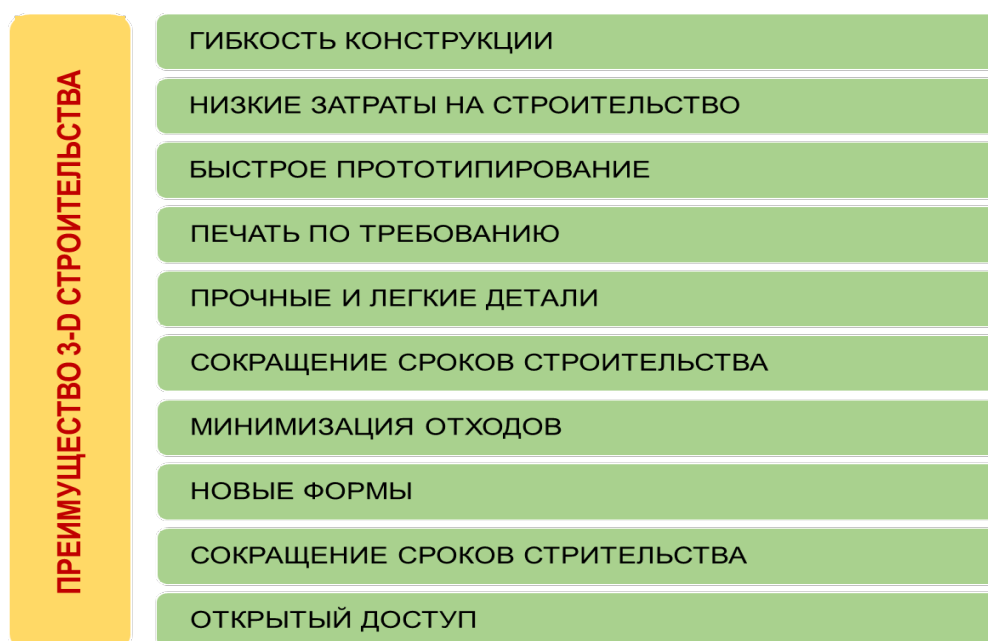


Рис. 1. Преимущества 3D-строительства

1. Гибкость конструкции. 3D-печать позволяет проектировать и печатать более сложные конструкции, чем традиционные производственные процессы. Более традиционные процессы имеют конструктивные ограничения, которые больше не применяются в жилищном строительстве при использовании 3D-печати.

2. Низкие затраты на строительство. 3D-печатные здания имеют гораздо более низкую стоимость строительства, чем те, которые строятся традиционными методами из-за сокращения количества сырья и, что более важно, рабочей силы. Затраты на рабочую силу архитектурных проектов могут быть уменьшены до 80%, если большая часть строительства будет завершена с помощью 3D-принтеров. Производственные затраты также снижаются за счет устранения необходимости в содержании больших складских помещений и необходимости ежедневной транспортировки строительных материалов.

3. Быстрое прототипирование. 3D-печать позволяет изготавливать детали в течение нескольких часов, что ускоряет процесс прототипирования. Это в жилищном строительстве позволяет быстрее завершить каждый этап. По сравнению с механической обработкой прототипов, 3D-печать является недорогой и более быстрой при создании деталей, поскольку деталь может быть закончена в течение нескольких часов, что позволяет выполнять каждую модификацию конструкции с гораздо более эффективной скоростью.

4. Печать по требованию. Печать по требованию – это еще одно преимущество, поскольку для хранения запасов не требуется много места, в отличие от традиционных производственных процессов. Это экономит место и затраты, так как нет необходимости печатать оптом, если это не требуется. Все файлы 3D-дизайна хранятся в виртуальной библиотеке, поскольку они печатаются с использованием 3D-модели в виде файла CAD или STL, а это означает, что их можно найти и распечатать при необходимости. Правки в проекты могут быть сделаны с очень низкими затратами путем редактирования отдельных файлов без потери устаревших запасов и инвестиций в инструменты.

5. Прочные и легкие детали. Основным используемым материалом для 3D-печати является пластик, хотя некоторые металлы также могут быть использованы для 3D-печати. Однако пластмассы имеют свои преимущества, поскольку они легче своих металлических эквивалентов. Это особенно важно в таких отраслях, как автомобилестроение и аэрокосмическая промышленность, где легкий вес является проблемой и может обеспечить большую топливную экономичность. Кроме того, детали могут быть созданы из специально подобранных материалов для обеспечения определенных свойств, таких как термостойкость, более высокая прочность или водоотталкивающая способность.

6. Сокращение сроков строительства. В зависимости от конструкции и сложности детали могут быть напечатаны в течение нескольких часов, что намного быстрее, чем формованные или обработанные детали. Это не только изготовление детали с помощью 3D-печати, которая может сэкономить время, но и ускорить непосредственно сам процесс проектирования строительного объекта. Это может быть чрезвычайно полезно во время чрезвычайной ситуации, когда конструкции должны быть построены в кратчайшие сроки.

7. Минимизация отходов. Производство деталей требует только материалов, необходимых для самой детали, с небольшими потерями или без них по сравнению с альтернативными методами, которые вырезаются из больших кусков перерабатываемых материалов. Этот процесс не только экономит ресурсы, но и снижает стоимость используемых материалов.

Использование 3D-печатной конструкции для архитектурных проектов является более экологичным. При использовании очень небольшого количества энергии печатная конструкция будет генерировать только около 30% отходов, которые производит обычный строительный проект. Компоненты печатаются по требованию, и любой неиспользуемый материал может быть легко переработан для дальнейшего использования. Цементная смесь, используемая в 3D-принтерах, может быть изготовлена из переработанного пластика и других материалов.

8. Новые формы. 3D-печать может создавать дизайнерские формы и конструкции, которые ранее казались бы невозможными или были бы очень дорогими, если бы это было сделано традиционным методом. Принтеры могут точно размещать небольшие количества бетона именно там, где это необходимо для сложных форм, что значительно расширяет возможности архитекторов при проектировании объекта.

9. Сокращение сроков строительства. Использование 3D-принтера для завершения строительного проекта может значительно сократить срок строительства. Получение дома, построенного с помощью 3D-технологии, может быть завершено примерно за месяц в полтора раза по сравнению с обычным 6-месячным периодом строительства.

10. Открытый доступ. 3D-принтеры становятся все более доступными, и все больше местных предприятий предлагают аутсорсинговые услуги для выполнения производственных работ. Это экономит время и не требует больших транспортных расходов по сравнению с более традиционными производственными процессами, производимыми за рубежом в таких странах, как Китай.

Основываясь на результатах исследований Пластининой Ю.В. [8], Ростиславова Р.А. [10], Когдаденко В.Г. [6], а также Мирджалиловой Л.Ш., Узбековой Е.К. и Зияева М.К. [5], авторы настоящей публикации сравнили преимущества и недостатки традиционного кирпичного домостроения и применения 3D-принтеров при ведении индивидуального жилищного строительства. В этих целях было осуществлено технико-экономическое обоснование выбора 3D-принтера и кирпича при строительстве двухэтажного коттеджа, построенного с помощью 3D-принтера и кирпича, площадью $S=340$ кв. м., которое состоит из ряда шагов и представлено ниже.

I. Определение производственной программы и производственной мощности предприятия.

Производственная мощность предприятия традиционно определяется по следующей формуле:

$$M_{\text{пред}} = N_{\text{об}} * P_{\text{ч}} * \Phi_{\text{эф}} \quad (1), \text{ где}$$

$N_{\text{об}}$ – число однотипного оборудования;

$P_{\text{ч}}$ – часовая производительность единицы оборудования (т, м², шт.);

$\Phi_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работ оборудования.

Рассчитаем производственную мощность предприятия для 3D-печати:

$$\Phi_{\text{эф}} = (14 * 1 * 8) * ((100 - 0,02) / 100) = 112 * 1 = 112 \text{ ч.}$$

$$M_{\text{пред}} = 3 * 5 * 112 = 1680 \text{ кв.м.}$$

Рассчитаем производственную мощность предприятия для строительства объекта из кирпича:

$$\Phi_{\text{эф}} = (21 * 1 * 8) * ((100 - 0,02) / 100) = 168 * 1 = 168 \text{ ч.}$$

$$M_{\text{пред}} = 3 * 1 * 168 = 504 \text{ кв.м.}$$

Главным условием обоснования запланированного объема производственной программы является соблюдение следующего условия: $M_{\text{пред}} \geq \text{ПП}$. Для 3D-печати: 1680 кв.м. > 340 кв.м. Для кирпича: 504 кв.м. > 340 кв.м.

Таблица 1

Производственная программа строительства объекта из кирпича и на основе 3D-печати

Наименование работы	Ед. изм.	Дневная производительность	Кол-во раб. дней	Производственная программа (ПП)
Строительство на основе 3D-печати	м ²	24,29	14	340
Строительство из кирпича	м ²	16,19	21	340
ИТОГО				680

II. Основные средства (фонды), необходимые для проекта. В табл. 2 и 3 представлено обоснование выбора необходимых основных средств для строительства из кирпича и на основе 3D-печати.

Таблица 2

Основные средства (фонды), необходимые для строительства объекта на основе 3D-печати

Группы основных средств	Ед. изм.	Кол-во	Первоначальная стоимость ОФ, тыс. руб.				Срок службы (годы) (Те)	Нелинейный способ начисления амортизации	
			С приобретения	С транспорта	С монтажа	Итого		Норма амортиз. (На)	Амортиз. начисления (Анач.)
МАШИНЫ и ОБОРУДОВАНИЕ									
Строительный 3d принтер «АМТ» s-6044	шт	1	960			960	5	100	960
Стр. миксер – перемешиватель «EvolutionTwister»	шт	1	19,2			19,2	3	100	19,2
Вибратор ВИ 117	шт	1	6,33			6,33	3	100	6,33
Дрель Хитачи	шт	2	8,64			8,64	1	100	8,64
Сварочный аппарат Инвестор PICO162	шт	1	21,84			21,84	2	8,33	14,15
Отбойный молоток «Хитачи»	шт	1	29,3			29,3	3	5,56	12,02
Шуруповерт эл. С магнитной головкой «Хитачи»	шт	1	2,3			2,3	0,5	100	2,3
Рубанок	шт	1	4,2			4,2	1,5	100	4,2
V.Измерит. и рег. оборудование									
Уровень строительный	шт	2	0,24			0,24	0,2	100	0,24
Отвес	шт	2	1,0			1,0	1	100	1,0
Транспорт. средства									
Автомобиль ГАЗ	шт	1	30 ч*1,5=45,0			45,0	10	100	45,0
Прочие ОФ (произв. и хоз. инвентарь)									
Молоток 500 гр.	шт	3	0,45			0,45	1	100	0,45
Ключи STAYER	шт	10	0,9			0,9	0,35	100	0,9
Угольник	шт	2	0,1			0,1	1	100	0,1
Ножовка по металлу	шт	2	0,3			0,3	0,3	100	0,3
Зубило	шт	3	0,3			0,3	0,5	100	0,3
Резак	шт	1	0,5			0,5	1,5	100	0,5
Рулетка	шт	2	0,26			0,26	0,5	100	0,26
Газосварочное оборудование							1		
Кислород	шт	1	0,4			0,4		100	0,4
Ацетилен	шт	1	0,8			0,8		100	0,8
Пропан	шт	1	0,54			0,54		100	0,54
Диски отрезные	шт	60	2,1			2,1	0,1	100	2,1
Диски зачистные	шт	30	0,75			0,75	0,1	100	0,75
Электрод ЛБ	кг	50	3,0			3,0	0,1	100	3,0

Ножницы по металлу	шт	2	0,46			0,46	0,3	100	0,46
ИТОГО						1109			684

Таблица 3

Основные средства (фонды), необходимые для строительства объекта из кирпича

Группы основных средств	Ед. изм.	Кол-во	Первоначальная стоимость ОФ, тыс. руб.				Срок службы (годы) (Тс)	Нелинейный способ начисления амортизации	
			С приобретения	С транспорта	С монтажа	Итого		Норма амортиз. (На)	Амортиз. начисления (Анач.)
МАШИНЫ и ОБОРУДОВАНИЕ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Силовые:									
Стр. миксер – перемешиватель «EvolutionTwister»	шт	5	19,2			96	3	100	96
Вибратор ВИ 117	шт	5	6,33			31,65	3	100	31,65
Дрель Хитачи	шт	5	8,64			43,2	1	100	43,2
Сварочный аппарат Инвестор PICO162	шт	5	21,84			109,2	2	8,33	14,15
Отбойный молоток «Хитачи»	шт	1	29,3			29,3	3	5,56	12,02
Автокран на базе МАЗА*	шт	1	20 ч*2,0=40,0			40,0	3	100	40
Бульдозер*	шт	1	8ч*1,5=12,0			12,0	15	100	12,0
УШМ 230	шт	1	4,75			4,75	0,5	100	4,75
Шуроповерт эл. С магнитной головкой «Хитачи»	шт	1	2,3			2,3	0,5	100	2,3
Эксковатор ДЭУ	шт	1	8ч*2,5=20,0			20,0	15	100	20,0
Перфоратор	шт	1	6,7			6,7	1,5	100	6,7
Рубанок элек. «Хитачи»	шт	1	4,2			4,2	1,5	100	4,2
Лобзик элек. «Блекен-декер»	шт	1	1,8			1,8	1,5	100	1,8
Измерит. и рег. обор									
Уровень строительный	шт	2	0,24			0,24	0,2	100	0,24
Отвес	шт	2	1,0			1,0	1	100	1,0
Шнур «Причалка»	шт	4	0,2			0,2	0,5	100	0,2
5.4. Порядовка	шт	2	2,2			2,2	0,5	100	0,2
Транспорт. средства									
Автомобиль ГАЗ	шт	1	30 ч*1,5=45,0			45,0	10	100	45,0
Прочие ОФ (произв. и хоз. инвентарь)									
Кельма	шт	4	1,0			1,0	0,5	100	0,45
Расшивка	шт	4	0,3			0,3	0,5	100	0,9
Угольник	шт	4	0,8			0,8	1	100	0,1
Ковш-лопата	шт	4	1,12			1,12	1	100	0,3
Молоток - кирка	шт	4	1,2			1,2	1	100	0,3

Ножовка	шт	2	0,4			0,4	0,3	100	0,5
Рулетка	шт	4	0,5			0,5	0,5	100	0,26
Газосварочное оборудование							1		
Кислород	шт	1	0,4			0,4		100	0,4
Ацетилен	шт	1	0,8			0,8		100	0,8
Пропан	шт	1	0,54			0,54		100	0,54
Диски отрезные	шт	20	0,7			2,1	0,1	100	2,1
Пистолет строительный монтажный «Хитачи»	шт	1	5,15			5,15	3	100	5,15
Кисть малярная	шт	10	0,6			0,6	0,1	100	0,6
Валик	шт	8	1,2			1,2	0,1	100	1,2
Миксер	шт	2	0,16			0,16	0,1	100	0,16
Тележка-носилка	шт	1	0,8			0,8	0,1	100	0,8
Топор	шт	2	0,5			0,5	0,5	100	0,5
Лопата	шт	4	0,6			0,6	0,5	100	0,6
Диски зачистные	шт	10	0,3			0,75	0,1	100	0,75
Электрод ЛБ	кг	20	1,2			1,2	0,1	100	1,2
ИТОГО						470			353

Несмотря на явное превышение стоимости основных фондов для строительства индивидуального жилого дома на основе 3D-печати над стоимостью основных средств для строительства из кирпича, следует сказать, что это кратковременная мера, вначале необходимо приобрести 3D-принтер, в дальнейшем он уже будет служить постоянно в рамках срока полезного использования.

В качестве метода начисления амортизации выбран нелинейный метод, поскольку он позволит быстрее распределить стоимость основных фондов до их полного износа и заложить их стоимость в себестоимость жилья.

III. Оборотные средства (фонды), необходимые для проекта.

В табл. 4 и 5 приведена группировка оборотных средств, необходимых для реализации данного жилищного проекта.

Таблица 4

Оборотные средства (фонды), необходимые для строительства на основе 3D-печати

Элементы оборотных средств	Ед. измерения	Кол-во необходимых материалов	Цена за ед. (тыс. руб.)	Стоимость (тыс. руб.)	Норма запаса в днях	Норматив
1. ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:						
1. Металлопрокат:						
1.1. Швелер	погон м	50 м	1,05	52,5	4	21,0
1.2. Уголок	погон м	100 м	0,119	11,9	4	4,76
1.3. Балка двутавор	погон м	50 м	0,935	46,75	4	18,7
1.4. Сэндвич панель с утеплителем пенополистирол	м ²	240	0,990	237,6	4	95,04
2. Доска обрезная	м ³	3	6,4	19,2	3	5,76
3. Брус 50×50	м ³	3	3,2	9,6	2	1,92
4. МДФ	шт	260	2,5	65,0	3	19,5
5. Жидкий пол	шт	15	0,6	9,0	4	3,6
6. Плитка	м ²	220	1,0	220,0	6	132,0
7. Окна ПВХ	шт	10	11,0	110,0	3	33,0
8. Двери	шт	8	4,0	32,0	2	6,4

деревянные						
9.Дверь металлч.	шт	1	16,0	16,0	2	3,2
10.Металлочерепа	м²	120	0,175	21,0	4	8,4
11.Сайдинг	м²	240	0,21	50,4	4	20,16
II.ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:						
Высокопрочная цементная смесь для печати строительных конструкций на 3D-принтерах	т	1	2,7	2,7	3	33,75
Коалиновая смесь для малоформат. принтеров	т	1	2,5	2,5	1	0,065
Мелкодисперсная цементная смесь общестроительного назначения для малоформатных принтеров	т	1	2,7	2,7	1	0,033
Стеклофибробет. общестроительного назначения для малоформатных принтеров	т	1	3	3	1	0,088
Цементная смесь общестроительного назначения м300 с минеральными добавками для малоформатных принтеров	т	1	2,5	2,5	1	0,03
III. ТОПЛИВО						
3.1.Бензин	л	200	0,022	4,4	-	-
IV.ЭНЕРГИЯ	кВт/ч	454	0,0047	2,13	-	-
VI.ПРОЧИЕ					-	-
6.1.Комплект для уборки стройплощадки	шт	1	0,5	0,5	1	0,05
ИТОГО				921		408

Таблица 5

Оборотные средства (фонды), необходимые для строительства объектов из кирпича

Элементы оборотных средств	Ед. измерения	Кол-во необход. материалов	Цена за ед. (тыс. руб.)	Стоимость (тыс. руб.)	Норма запаса в днях	Норматив
I.ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:						
1.1.Кирпич силикатный	м³	141,2	5,174	730,56	10	487,04
1.2.Кирпич облицовочный	м³	18,5	6,122	113,26	10	75,51
1.3.Раствор кладочный	м³	20,0	2,85	57,0	10	38,0
1.4.Утеплит. «Пенопласт»	м³	18,3	1,25	22,88	10	15,25
1.5.Доска обрезная	м³	3	6,4	19,2	3	5,76
1.6.Брус 50×50	м³	3	3,2	9,6	2	1,92
1.7.МДФ	шт	260	2,5	65,0	3	19,5
1.8.Жидкий пол	шт	15	0,6	9,0	4	3,6

1.9.Плитка	м ²	220	1,0	220,0	6	132,0
1.10. Окна ПВХ	шт	10	11,0	110,0	3	33,0
1.11.Двери деревянные	шт	8	4,0	32,0	2	6,4
1.12.Дверь металлч.	шт	1	16,0	16,0	2	3,2
1.13.Металлочерепица	м ²	120	0,175	21,0	4	8,4
II.ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:						
2.1.Клей плиточный	кг	250	0,45	112,5	3	33,75
2.2.Саморезы по дереву	кг	5	0,13	0,65	1	0,065
2.3.Шурупы	кг	3	0,11	0,33	1	0,033
2.4.Герметик	балон	8	0,11	0,88	1	0,088
2.5.Прессшайба	пачка	10	0,03	0,3	1	0,03
2.6.Кровельный саморез	упак.	1	0,6	0,6	1	0,06
2.7.Анкера	шт	60	0,02	1,2	1	0,12
2.8.Затирка швов	шт	15	0,2	3,0	1	0,3
2.9.Лак	л	10	0,3	3,0	1	0,3
2.10.Замки «Ермак»	шт	9	0,6	1,8	1	0,18
III. ТОПЛИВО						
3.1.Бензин	л	350	0,022	7,7	-	-
IV.ЭНЕРГИЯ						
кВт/ч 658,8 0,0047 3,1 - -						
VI.ПРОЧИЕ						
- -						
6.1.Комплект для уборки стройплощадки	шт	1	0,5	0,5	1	0,05
ИТОГО				1561		865

Сравнивая стоимость оборотных средств для строительства объектов на основе использования 2 материалов, следует сделать вывод, что строительство на основе 3D-печати требует меньше оборотных средств, чем строительство из кирпича.

На следующем этапе необходимо определить энергопотребление основных фондов по форм. 2 (см. табл. 6 и 7):

$$\text{Э} = \text{Мэп} * \text{Ч} * \text{Ц} \quad (2),$$

где Э – стоимость потребления электроэнергии;
Мэп – мощность энергопотребителей приборов;
Ч – часы работы в год электроприборов;
Ц – цена 1 Квт/час.

Таблица 6

Расчет стоимости электроэнергии для строительства на основе 3D-печати

Виды приборов, потребителей электроэнергии	Кол-во приборов	Мощность, Ватт	Кол-во часов работы в программе	Общая потребляемая электроэнергия в КВт/час	Цена 1 КВт/час в руб.	Стоимость в тыс. руб.
Строительный 3d-принтер	1	3000	5ч*6=30	45	4,7	0,22
Миксер	1	2000	4ч*6=24	48	4,7	0,23
Вибратор	1	1500	4ч*6=24	36	4,7	0,17
Дрель	2	800	5ч*10=50	80	4,7	0,38
Сварочный аппарат	1	2000	6ч*7=42	84	4,7	0,39
Отбивной молоток	1	2500	4ч*2=8	20	4,7	0,09
УШМ	1	1200	5ч*7=35	42	4,7	0,2

Шуруповерт	1	800	6ч*10=60	4,8	4,7	0,02
Рубанок	1	1200	4ч*4=16	19,2	4,7	0,09
Лампы	10	150	8ч*10=80	120	4,7	0,56
ИТОГО				499		2,35

Таблица 7

Расчет стоимости электроэнергии (для кирпича)

Виды приборов, потребителей электроэнергии	Кол-во приборов	Мощность, Ватт	Кол-во часов работы в программе	Общая потребляемая электроэнергия в КВт/час	Цена 1 КВт/час в руб.	Стоимость в тыс. руб.
Миксер	1	2000	6ч*10=60	120	4,7	0,56
Вибратор	1	1500	6ч*10=60	90	4,7	0,42
Дрель	2	800	3ч*10=30	48	4,7	0,23
Сварочный аппарат	1	2000	2ч*4=8	16	4,7	0,08
Отбивной молоток	1	2500	5ч*10=50	125	4,7	0,59
УШМ	1	1200	5ч*7=35	42	4,7	0,2
Шуруповерт	1	800	5ч*4=20	16	4,7	0,08
Рубанок	1	1200	4ч*4=16	19,2	4,7	0,09
Лампы	1	1500	5ч*6=30	45	4,7	0,21
Миксер	1	1100	4ч*4=16	17,6	4,7	0,08
Вибратор	10	150	8ч*10=80	120	4,7	0,56
ИТОГО				658,8		3,1

Анализируя представленные данные, можно отметить, что энергопотребление и его стоимость при строительстве индивидуального жилого дома на основе 3D-печати значительно ниже, чем при строительстве из кирпича.

IV. Определение трудовых ресурсов на предприятии.

Таблица 8

Определение численности и оплаты труда для строительства на основе 3D-печати

Категории работающих	Кол-во	Оклад	Премия, в %	Сумма	Итого
1. Мастер	1	8500	10%	850	9350
2. Монтажник	2	7600	10%	760	8360
3. Крановщик	1	6300	10%	630	6930
4. Слесарь	2	6000	10%	600	6600
5. Сварщик	1	5800	10%	580	6380
6. Электрик	1	5500			5500
7. Водитель	1	4600			4600
8. Грузчик	1	4300			4300
9. Уборщик	1	3700			3700
10. Сторож	1	3700			3700
ИТОГО	14	56 000			59 420

Таблица 9

Определение численности и оплаты труда для строительства объектов из кирпича

Категории работающих	Кол-во	Оклад	Премия, в %	Сумма	Итого
1. Мастер	1	10 000	10%	1000	11 000
2. Плотник	1	8900	10%	890	9790
3. Крановщик	1	8500	10%	850	9350
4. Каменщик	8	9000	10%	900	9900
5. Сварщик	1	8500			8500
6. Электрик	1	7200			7200
7. Водитель	1	6300			6300
8. Грузчик	1	6000			6000
9. Уборщик	1	5000			5000
10. Сторож	1	4000			4000
ИТОГО	19	73 400			77 040

V. Определение себестоимости (S) СМР.

После определения всех затрат на производственную программу, необходимо рассчитать себестоимость строительства объектов при каждом способе, для чего составим табл. 10 (результаты графически представлены на рис. 2).

Таблица 10

Сравнительный расчет себестоимости СМР для 3D-печати и кирпича

Виды затрат	Ед. измерения	Сумма (для 3D-печати)	Уд. вес, в %	Сумма (для кирпича)	Уд. вес, в %	Экономический эффект от внедрения 3D-печати	
						тыс. руб.	%
I. МАТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ							
1. Сырье и материалы	тыс. руб.	900,95	53,6%	1426	70,9%	-525,1	63,2%
2. Вспом. материалы	тыс. руб.	13,4	0,8%	124,76	6,2%	-111,4	10,7%
3. Топливо	тыс. руб.	4,4	0,3%	7,7	0,4%	-3,3	57,1%
4. Энергия	тыс. руб.	2,35	0,1%	3,1	0,2%	-0,8	75,8%
II. ЗАТРАТЫ НА ОПЛАТУ ТРУДА							
2.1. ФОТ	тыс. руб.	59,4	3,5%	77	3,8%	-17,6	77,1%
2.2. Отчисления: (26% от ФОТ)		15,6	0,9%	20,2	1,0%	-4,6	77,1%
2.1. пенсионный (20%)	тыс. руб.	11,9	0,7%	15,4	0,8%	-3,5	77,1%
2.2. соц. страхования (2,9%)	тыс. руб.	1,7	0,1%	2,2	0,1%	-0,5	77,1%
2.3. занятости (0,2%)	тыс. руб.	0,1	0,0%	0,2	0,0%	0,0	77,1%
2.4. обяз. мед. страх. (3,1%)	тыс. руб.	1,8	0,1%	2,4	0,1%	-0,5	77,1%
III. АМОРТИЗАЦИЯ	тыс. руб.	684	40,7%	353	17,5%	331,0	193,8%
IV. ПРОЧИЕ ЗАТРАТЫ	тыс. руб.						
ИТОГО		1680,1	100	2011,7	100	-331,7	83,5%

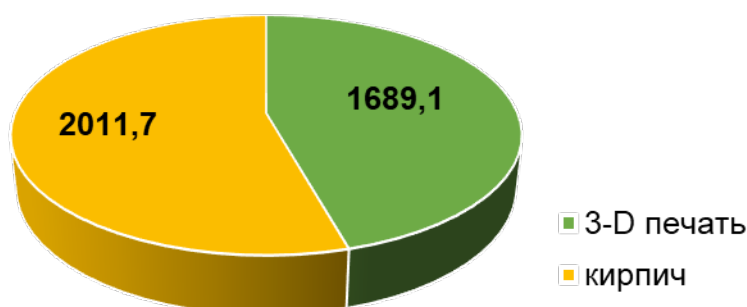


Рис. 2. Динамика себестоимости строительства с помощью 2-х материалов

В данном случае заемный капитал использоваться не будет.
 VI. Определение себестоимости единицы работы, услуг (сед).

Таблица 11

Определение себестоимости кв. м. жилья для 3D-печати и кирпича

Показатели	Строительство на основе 3D-печати	Строительство из кирпича	Экономический эффект от внедрения 3D-печати	
			тыс. руб.	%
1. Себестоимость СМР, тыс. руб.	1680,1	2011,7	-331,6	83,5
2. Общая площадь объекта, кв.м	340	340	-	-
3. Себестоимость 1 кв. м. общей площади объекта, тыс. руб. (стр.1/стр.2)	4,94	5,92	-0,98	83,4

VII. Определение цены работ затратным методом

Определение цены (Ц) производим по форм. 3 (результаты сведены в табл. 12):

$$Ц = \text{сед.} + \text{сед.} \cdot \text{ппр} \quad (3), \text{ где}$$

сед – себестоимость единицы работы;

ппр – норма прибыли (целевая).

Таблица 12

Определение цены кв. м. жилья для 3D-печати и кирпича

Показатели	Строительство на основе 3D-печати	Строительство из кирпича	Экономический эффект от внедрения 3D-печати	
			тыс. руб.	%
1. Себестоимость 1 кв. м. общей площади объекта, тыс. руб.	4,94	5,92	-0,98	83,4
2. Норма прибыли (целевая)	4	4	-	-
3. Цена 1 кв. м. жилья, тыс. руб. (стр.1×стр.2)	19,76	23,68	-3,92	83,5

VIII. Определение стоимости объектов строительства.

Расчет сведен в табл. 13.

Таблица 13

Определение стоимости строительства объектов на основе 3D-печати и кирпича

Наименование работ	Ед. изм.	Произв. программ	Цена за 1 м ² в тыс. руб.	Стоимость объекта	Экономический эффект от внедрения 3D-печати	
					тыс. руб.	%
Строительство объекта на основе 3D-печати	м2	340	19,76	6718,4	-1332,8	-16,6
Строительство из кирпича	м2	340	23,68	8051,2		

Таким образом, представленные расчеты свидетельствуют о том, что стоимость строительства рассматриваемого объекта на основе 3D-печати на 1332,8 руб. или на 16,6% ниже, чем стоимость строительства из кирпича. Что подтверждает эффективность выбранной технологии.

Прогнозный объем продаж по строительству индивидуальных жилых домов на основе 3D-печати на 2022 г. составляет 9 заказов, в денежном выражении $9 * 6718,4 = 60465,6$ тыс. руб.

Расчет показателей эффективности нами приведен ниже.

Определение годовой прибыли от реализации продукции. Годовая прибыль рассчитывается по форм. 4:

$$P_p = Q - S \quad (4);$$

где, Q – объем продаж, S – себестоимость работ.

1. От строительства объекта на основе 3D-печати

$$P_p = 60465,6 \text{ тыс. руб.} - 1680,1 \text{ тыс. руб.} * 9 \text{ объектов} = 45344,7 \text{ тыс. руб.}$$

2. От строительства объекта из кирпича

$$P_p = 32204,8 \text{ тыс. руб.} - 2011,7 \text{ тыс. руб.} * 4 \text{ объекта} = 24158 \text{ тыс. руб.}$$

Чистая прибыль рассчитывается по форм. 5:

$$P_{\text{чист}} = P_{\text{реал}} - \text{Налог на прибыль} - \text{кредит}, \quad (5)$$

$$P_{\text{чист 3D}} = 45344,7 - 45344,7 * 0,20 = 36275,8 \text{ тыс. руб.}$$

$$P_{\text{чист КИРПИЧ}} = 24158 - 24158 * 0,20 = 19326,4 \text{ тыс. руб.}$$

Таблица 14

Система показателей деятельности по строительству объектов на основе 3D-печати и кирпича

Наименование показателей	Формула расчета	Расчетные значения (для 3D-печати)	Расчетные значения (для кирпича)	Экономический эффект (тыс. руб.)
1. Прибыль от реализации (Pr), тыс. руб.	Из расчетов	45 344,7	24 158	21 186,7
2. Чистая прибыль (Pчист), тыс. руб.	Из расчетов	36 275,8	19 326,4	16 949,4
3. Объем продаж (Q), тыс. руб.	Из расчетов	60 465,6	32 204,8	28 260,8
4. Себестоимость (S), тыс. руб.	Из расчетов	1680,1	2011,7	-331,6
5. Рентабельность Продаж, в %	$R_p = (P_p / Q) * 100;$	75,0	75,0	-0,02
	$R_{\text{пч}} = (P_{\text{чист}} / Q) * 100$	60,0	60,0	-0,016
6. Рентабельность производства, в %	$R_{\text{п-ва}} = (P_p / S) * 100;$	2698,9	1200,9	1498,05
	$R_{\text{п-ва}} = (P_{\text{чист}} / S) * 100$	2159,1	960,7	1198,4

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что 3D-принтеры, с точки зрения разработки планировочных решений, могут легко создавать конструкции с использованием криволинейных форм вместо типичных прямолинейных форм, что делает их намного более прочными. Стены конструкций обычно выдалбливают, чтобы обеспечить проход инженерных коммуникаций и уменьшить количество используемых материалов. Меньшее количество материала не только увеличивает долговечность, но и экономит затраты на жилищное строительство для архитекторов и подрядчиков, использующих 3D-печать.

Кроме того, представленное выше технико-экономическое обоснование выбора конструктивного материала позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время строительство индивидуальных жилых домов на основе 3D-печати экономически целесообразнее, чем с применением кирпича.

Литература

1. *Афитов Э.Ф.* Планирование на предприятии: Учебное пособие. – Минск: Высшая школа, 2020. 280 с.
2. *Балашов В.Г.* Механизмы управления организационными проектами. – Москва: ИПУ РАН, 2019. 84 с.
3. *Басовский Л.Е., Басовская Е.Н.* Экономическая оценка инвестиций. – Москва: Инфра-М. 2019. – 240 с.

4. *Бланк, И.А.* Инвестиционный менеджмент: учебное пособие / Москва: Изд-во «Ника-Центр», 2015. 448 с.
5. *Зияев М.К, Мирджалилова Д.Ш., Узбекова Е.К.* Риски в строительстве при повышении эффективности инвестиций // Бюллетень науки и практики. Ташкент. – Т. 7. – №5. – 2021. – 321с.
6. *Когдаденко В.Г.* Методология и методика экономического анализа в системе управления коммерческой организацией: учебное пособие /Москва: Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2017. 543 с
7. *Кутяк Т.В.* Высокоплотная малоэтажная жилая застройка: проблемы и перспективы развития // Материалы XIV-ой Международной научной конференции «Новые идеи нового века». Москва, 2014.
8. *Пластинина Ю.В.* Эколого-экономическая оценка недвижимости. – Екатеринбург, 2014. – 30с.
9. *Ростиславов Р.А.* Методы оценки инвестиционной привлекательности предприятия // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. Тула. – 2016. – С. 154-157.