

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент:

Заведующий кафедрой:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Г.А. Пикус

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе магистра на тему:

Применение технологии 3D-печати для временных зданий

строительных площадок

ЮУрГУ 08.04.01 «Строительство». АСИ-278. ПЗ ВКР

Нормоконтролер:

Руководитель: Доцент, к.т.н.

Молодцов М.В.

Молодцов М.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Проверка по системе антиплагиат: \_\_\_\_\_ %

Молодцов М.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

Автор ВКР:

Рязанских К.Е.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Рязанских Кристина Евгеньевна, Применение технологии 3D-печати для временных зданий строительных площадок, пояснительная записка. – Челябинск: ЮУрГУ, 2019, 148 стр., библиограф. – 95, табл. – 53, илл. – 44.

Объектами исследования магистерской диссертации являются временные здания строительной площадки и технология строительной 3D печати.

Цель работы – предложить совершенно новую технологию изготовления зданий и сооружений, которыми временно оснащается строительная площадка.

В качестве предлагаемой технологии была выбрана строительная 3D печать. В результате исследования была получена стоимость изготовления временных зданий, составившая 119 тыс.руб. за кв.м. Была предпринята попытка снизить стоимость технологии в 2,5 раза за счет вторичного использования материала. Должного экономического эффекта от применения предлагаемой технологии достигнуть не удалось. Однако было выявлено значительное преимущество технологии – ее экологичность и безотходность.

*Ключевые слова: временные здания, 3D печать, принтер, геобетон.*

				<i>АС-278-08.04.01-2019-ПЗ</i>			
	<i>Фамилия</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Зав.каф.</i>	<i>Пикус</i>			<i>Тема работы: Применение технологии 3D-печати для временных зданий строительных площадок</i>	<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Н.контр.</i>	<i>Молодцов</i>				<i>ВКР</i>	<i>2</i>	<i>148</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Молодцов</i>				<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Консульт.</i>					<i>Кафедра СПТС</i>		
<i>Разраб.</i>	<i>Рязанских</i>						

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА .....	6
1.1 Описание существующих видов временных зданий .....	6
1.1.1 Строительные вагончики .....	6
1.1.2 Сборно-разборные временные здания.....	13
1.1.3 Проектирование комплекса временных зданий .....	16
1.2 Строительная 3D печать .....	17
1.2.1 Обзор научной литературы .....	17
1.2.2 Патентный поиск .....	37
2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	53
2.1 Анализ рынка временных зданий сборно-разборного типа.....	53
2.1.1 Обзор производителей .....	53
2.1.2 Подсчет затрат на приобретение и эксплуатацию .....	56
2.1.3 Экономическая эффективность.....	60
2.2 Анализ рынка строительных вагончиков.....	60
2.2.1 Обзор производителей .....	60
2.2.2 Подсчет затрат на приобретение и эксплуатацию .....	72
2.2.3 Экономическая эффективность.....	81
2.3 Временные здания, построенные с применением 3D печати .....	82
2.3.1 Описание предлагаемой технологии .....	82
2.3.1.1 Выбор строительной смеси для печати.....	84
2.3.1.2 Выбор конструкции стены.....	92
2.3.1.3 Выбор конструкции перекрытия.....	100
2.3.1.4 Выбор формы здания .....	101
2.3.1.5 Выбор метода разрушения зданий и способа переработки материала.....	107
2.3.2 Обзор производителей 3D принтеров .....	109
2.3.3 Подсчет основных затрат на внедрение и эксплуатацию .....	122

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

2.3.4 Экономическая эффективность.....	133
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	136
3.1 Сравнение и анализ полученных показателей.....	136
3.2 Обзор преимуществ применения технологии .....	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	141
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	142

					<i>АС-278-08.04.01-2019-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		4

## ВВЕДЕНИЕ

За последние 10 лет не встречалось упоминаний о попытках развития и модернизации технологии изготовления временных зданий строительной площадки. Однако любая технология требует усовершенствования.

Технология 3D печати на сегодняшний день является очень перспективной, однако, на данный момент в виду своей новизны имеет одно главное ограничение – невозможность строительства высотных многоэтажных зданий, которые так популярны на российском строительном рынке.

Нами было принято решение рассмотреть данные направления, каждое со своей стороны, и объединить их в одной концепции.

Цель данного исследования – предложить совершенно новую технологию изготовления зданий и сооружений, которыми временно оснащается строительная площадка.

Задачи исследования:

- анализ рынка существующих временных зданий;
- анализ рынка строительных принтеров;
- детальная проработка принципиально новой концепции изготовления временных зданий.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

# 1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

## 1.1 Описание существующих видов временных зданий

### 1.1.1 Строительные вагончики

Передвижные вагончики повсеместно используются в строительной сфере для размещения рабочих, которые должны постоянно находиться в непосредственной близости к строящемуся объекту. В настоящий момент данный вид временных зданий является наиболее распространенным.

Вагончики могут служить как бытовками, где люди проживают вахтовым методом, так и различными сооружениями производственного назначения.

Современные передвижные вагончики имеют ряд преимуществ перед другими видами временных зданий. Они обладают не только высоким уровнем мобильности, но и весьма серьезной функциональностью и прочностью.

Строительный вагончик может использоваться в качестве:

- жилого помещения;
- офиса;
- столовой;
- мастерской;
- сушилки;
- душевой;
- санузла;
- прачечной;
- лаборатории;
- медпункта и т.д. [1]

Все строительные вагончики можно разделить на три категории:

1. сооружения бытового назначения (столовые, жилые помещения, душевые и т.д.);
2. сооружения административного назначения (прорабские, пункты охраны и т.д.);

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

3. вагончики-бытовки промышленного назначения (склады, мастерские, электростанции и т.д.).

Бытовка является универсальным помещением для временного проживания, так как область ее применения может быть различной и меняться до нескольких раз за год. Кроме того, себестоимость бытовки сравнительно мала и окупается в течение двух месяцев. Ну а если необходимость во временном жилье на строительной площадке отсутствует, вагончик можно сдавать в аренду, получая при этом дополнительную прибыль.

Рассмотрим габаритные характеристики стандартных вагончиков.

#### 1. Длина

Длина вагончика – наиболее варьируемый показатель. Минимальное значение длины составляет 2 м, максимальное – около 10 м. Стандартным габаритом длины принято считать 6 м.

#### 2. Ширина

Стандартной шириной сооружения считается значение не менее 2,5 м. Но в зависимости от назначения вагончика данный параметр также можно изменять как в меньшую, так и в большую сторону.

#### 3. Высота

Высота вагончика влияет на установку входной двери. Стандартным значением является высота в 2,5 м. Однако, бюджетные варианты бытовок могут предполагать конструкцию высотой 2 м.

Таким образом, современный вагончик-бытовка представляет собой цельный каркасный модуль со стандартными размерами 6х2,5х2,5м (длина, ширина и высота соответственно). Бытовки могут быть изготовлены и других габаритов, но, как правило, они кратны стандартным. В одном типовом вагончике могут одновременно проживать до 8 рабочих.

На сегодняшний день производители предлагают большое количество вариантов вагончиков с различными планировками. Рассмотрим три основных

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

типа планировок – стандартную планировку, «распашонку» и планировку с тамбуром. [2]

### 1. Стандартная конструкция

Стандартной планировкой (рис.1) является одна большая комната с дверьми и окнами (такой вариант еще иногда называют «пустышка»). В виду своей простоты и практичности данный тип планировки имеет наиболее широкую сферу применения – такой вагончик может служить складом, санитарной зоной, жилым помещением и так далее.



Рис.1 Стандартная планировка вагончика

### 2. «Распашонка»

Особенность данной планировки заключается в том, что такой вагончик представляет собой два помещения, разделенных коридором. «Распашонка» (рис.2) отлично подходит для тех ситуаций, когда необходимо разместить в бытовке несколько человек или же организовать отдельные зоны (например жилое помещение и кухня или 2 разных склада).

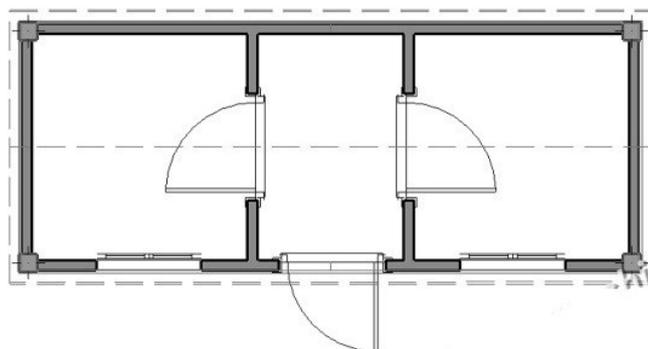


Рис.2 Планировка вагончика типа «распашонка»

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

### 3. Бытовка с тамбуром

Данный тип планировки – одно большое помещение, имеющее отдельный коридор, то есть тамбур (открытого или закрытого типа). Вагончик с тамбуром (рис.3) является наиболее практичным вариантом для зимних условий.

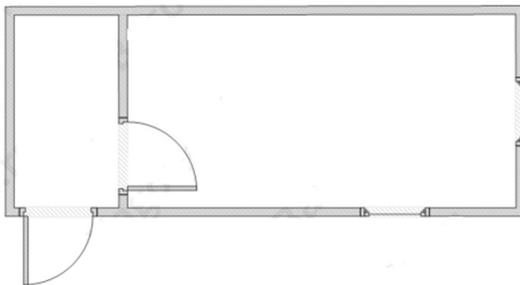


Рис.3 Вагончик с тамбуром

Основой конструкции передвижного строительного вагончика может служить деревянный или металлический каркас. В качестве наружной обшивки в основном используется оцинкованный профнастил. Внутри вагончик обшивают досками, вагонкой или ДСП. Как и любое временное здание вагончик оснащается всеми необходимыми коммуникациями, теплоизоляцией, окнами и дверьми и так далее.

Металлические каркасные вагончики являются более надежными и долговечными, а поэтому наиболее распространенными. Деревянные бытовки имеют спрос в виду своей относительно низкой стоимости, а также быстроты монтажа.

Установка вагончиков происходит на специальное автошасси или сани-полозья. Последний вариант является наиболее предпочтительным для северных регионов. Преимущество бытовки на шасси – высокая платформа, которая защищает конструкцию вагончика от коррозии, а, следовательно, увеличивает срок его эксплуатации. Транспортировка вагончика осуществляется с помощью тягача и буксира.

Обычно вагончик-бытовка имеет:

- окна и двери под ключ;

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

- электрику (розетки, освещение);
- заземление;
- вентиляцию;
- звукоизоляцию и другие необходимые инженерные коммуникации.

Если в конструкции бытовки предусмотрены качественные материалы-утеплители, то обогрев таких помещений происходит быстрее, а большого расхода энергии на отопление не требуется.

Рассмотрим основные преимущества и недостатки вагончиков в зависимости от материала, из которого они изготовлены.

#### 1. Деревянные щитовые вагончики

Вагончики выполняются из материалов низкого качества (фанера, ДСП, ДВП, вагонка) и обычно не имеют утепления.

Размеры, м: 2х2; 2х3; 2х4.

Плюсы: низкая стоимость (от 2,5 тыс. руб. за 1 м<sup>2</sup>), легкость, мобильность.

Минусы: малый срок эксплуатации, низкие теплоизоляционные свойства, плохая гидроизоляция, что влечет за собой принятие дополнительных мер.

Такие вагончики могут подойти для хранения строительных инструментов. Также их можно использовать в качестве беседки или летней кухни, для отдыха на свежем воздухе, укрытия от осадков или солнечного света.

#### 2. Деревянные каркасные вагончики

Каркас бытовок собирается из бруса сечением более 50 мм и являются утепленными.

Размеры, м: 2,5х4, 2,5х5 и более.

Плюсы: длительный срок эксплуатации, хорошие теплоизоляционные свойств, гидроизоляция, мобильность.

Минусы: относительно высокая цена в сравнении с предыдущим вариантом (от 4,5 тыс. руб. за 1 м<sup>2</sup>).

Такие бытовки могут использоваться в качестве как строительных временных зданий, так и дачных домиков.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

### 3. Деревянные бытовки, сделанные из бруса

Такие вагончики изготавливаются из брусьев сечением от 100 мм, пол и потолок утепляются, дополнительной отделки не требуется.

Размеры, м: ширина – 2,5 и более, длина от 6, высота – 2,5.

Плюсы: длительный срок эксплуатации, экологичность, комфортность проживания, хорошая гидроизоляция.

Минусы: такая бытовка в сравнении с другими видами вагончиков имеет достаточно высокую стоимость (от 9,5 тыс. руб. за 1 м<sup>2</sup>), а также низкую мобильность.

Вагончик из бруса (рис.4) больше подходит для использования в качестве дачных домиков, а в некоторых случаях может быть переоборудован в место постоянного проживания.



Рис.4 Деревянный вагончик

### 4. Металлические каркасные вагончики

Вагончики имеют деревянный каркас обшитый профилированным металлом, утепляются, а внутри обшиваются вагонкой.

Размеры, м: стандартные 3х6х2,5.

Плюсы: прочность, высококачественные материалов, гидроизоляция.

Минусы: относительно высокая стоимость (от 4,5 тыс. руб. за 1 м<sup>2</sup>), плохая мобильность, крупногабаритность (что требует дополнительных документов при транспортировке).

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Такие сооружения подходят для хранения строительных инструментов, для использования в качестве дачных домиков.

#### 5. Металлические вагончики блок-контейнерного типа

Бытовки изготавливаются из монолитного каркаса, имеют усиленное утепление и качественную внутреннюю отделку.

Типовых размеров не имеют, так как в основном изготавливаются по индивидуальному заказу.

Плюсы: высокая прочность, долгий срок использования, долговечные и качественные материалы, хорошая мобильность, высокие гидро- и теплоизоляционные свойства.

Недостатки: высокая стоимость (от 5 тыс. руб. за 1 м<sup>2</sup>).

Такие строительные вагончики могут использоваться в любой сезон в виду своей прочности, надежности, и экологичности материалов.

Срок эксплуатации вагончиков блок-контейнерного типа (рис.5) может достигать несколько десятков лет при малых потерях эксплуатационных свойств. [3]



Рис.5 Металлический вагончик

По результатам анализа можно сделать вывод, что приобретение и использование металлических вагончиков является гораздо более выгодным,

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

чем покупка деревянных бытовок, не смотря на их низкую стоимость и экологичность. Металлические вагончики могут быть использованы множество раз, а также являются пожаробезопасными. Даже с пропиткой специальными составами дерево является небезопасным материалом. В случае возникновения пожара у металлических вагончиков выгорит лишь материал внутренней обшивки, в то время как каркас останется целым. Кроме того, при возгорании вне помещения вагончика огонь не перекинется на саму бытовку в виду негорючести материалов обшивки.

Еще одним преимуществом металлического вагончика перед деревянным является комфортность проживания в нем людей. Благодаря внешней обшивке в виде профлиста бытовка защищена от ветра и влаги. Минераловатный утеплитель в свою очередь защищает помещение от холода, а внутренняя обшивка создает благоприятные условия для проживания в любое время года. В деревянных вагончиках (особенно если они были изготовлены из некачественной древесины) возможно появление щелей и перекосов, что способствует проникновению внутрь ветра и холода.

Металлические бытовки также пригодны к ремонту. Профлисты, составляющие внешнюю обшивку, легко монтируются и демонтируются. Таким образом, вагончик в случае чего можно дополнительно утеплить любым материалом или заменить поврежденную обшивку на новую.

Однако деревянные бытовки имеют свои преимущества. Главным из них является низкая стоимость. Цена таких вагончиков на 1/3 меньше цены металлических бытовок, имеющих аналогичные размеры и конструкцию. Если дерево было качественно обработано, то такие бытовки также будут иметь более эстетичный внешний вид.

#### 1.1.2 Сборно-разборные здания

При необходимости создания производственной базы на строительной площадке на крупных стройках в качестве временных зданий применяют здания сборно-разборного типа (рис.6).

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13



Преимущества пневматических сооружений:

- минимальная масса (до 2-3 кг/м<sup>2</sup> полезной площади);
- высокая транспортабельность;
- невысокая трудоёмкость и стоимость монтажа.

К недостаткам пневмосооружений следует отнести повышенную стоимость эксплуатации, особенно в зимний период.

Главная особенность сборно-разборных временных зданий заключается в том, что они доставляются на строительную площадку отдельными конструктивными элементами, а затем уже собираются. Обычно здания изготавливают по проектам унифицированных зданий одно-, двух-, трехпролетными. Высота здания, как правило, определяется его назначением. Так, высота зданий жилого, общественного, административного и санитарно-бытового назначения – 3 м, а производственного и складского – 4,2 и 6 м.

Для дальнейшего анализа рассматриваются здания, которые перевозятся и собираются по так называемой технологии «Транспак». Они представляют собой сборно-разборные блок-контейнеры, которые в запакованном для перевозки виде в высоту занимают не более 80 см. В этом и заключается главное преимущество технологии «Транспак» – компактность при транспортировке, что позволяет за 1 рейс грузового автомобиля перевезти от 6 до 10 таких зданий. Точное количество зависит от производителя и толщины утеплителя.

Блок контейнеры «Транспак» состоят из жесткого разборного металлического каркаса, стеновых панелей и крыши. Внешняя стеновая отделка может представлять собой профилированный лист, но наиболее популярной является отделка из сэндвич-панелей с наполнителем в виде минеральной ваты или пенополистерола.

#### Описание технологического процесса

##### 1) Сборка каркаса

- Установка на заранее подготовленный фундамент;

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

- Снятие транспортировочных креплений и распаковка комплектующих;
- Установка угловых стоек;
- Установка верхней платформы блок-контейнера.

## 2) Установка стен

На данном этапе производится последовательная установка панелей в монтажный профиль каркасной рамы. Панели прикрепляются с помощью саморезов.

## 3) Установка быстросъемных стеновых перегородок

Внутренние перегородки позволяют создать любую планировку в зависимости от индивидуальных особенностей заказа. В качестве внутренних перегородок обычно используют сэндвич-панели.

### 1.1.3 Проектирование комплекса временных зданий

Проектирование состоит из следующих этапов:

- 1) определение необходимых типов зданий (номенклатура);
- 2) определение общей потребности во временных зданиях;
- 3) определение требуемого количества зданий;
- 4) планировка строительного городка.

Общая потребность во временных зданиях определяется по формуле 1.

$$F = F_n \cdot P \quad (1)$$

где:  $F_n$  – нормативный показатель потребности в здании;

$P$  – число работающих в наиболее многочисленную смену. [1]

Определение численности пользователей зданием:

1. определение максимального числа рабочих на строительной площадке на основании календарного плана работ;
2. определение числа различных категорий работающих.

Общая численность пользователей зданием определяется по формуле 2.

$$N_{сп} = \frac{F - F_n}{F} \cdot N_0 \quad (2)$$

где:  $N_0$  – количество пользователей временным зданием;

$F_n$  – площадь временного здания. [1]

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Необходимое количество временных зданий определяется по формуле 3.

$$P = \frac{N_{\text{вр}} \cdot m}{G} \quad (3)$$

где:  $m$  – норматив показателя вместимости здания;

$G$  – вместимость одного здания. [1]

Максимальное расстояние, на котором должны располагаться строительные городки от площадки, составляет 500 м (предпочтительное – 200 м).

## 1.2 Строительная 3D печать

### 1.2.1 Обзор научной литературы

Внедрение 3D-принтеров в строительное производство произошло крайне стремительно. С того момента, как зародилась идея использовать 3D-печать для строительства зданий и сооружений, до появления первых масштабных строительных проектов прошло всего четыре года. Инженеры и архитекторы, исследователи и ученые с разных уголков планеты воодушевленно поддерживают и развивают данное направление. Ведь, казалось бы, парадоксальное выражение «распечатать дом» являет собой будущее современного строительства.

3D-печать берет начало в 1948 году. Именно тогда американец Чарльз Халл разработал технологию послойного формирования объемных элементов при помощи фотополимеризующейся композиции (ФПК). Данная технология была названа стереолитографией. В 1986 году Халл получил патент на своё изобретение и основал компанию «3D Systems», которая по сей день является лидирующим предприятием в сфере трехмерной печати. Практически в это же время он начал работу над созданием первого промышленного устройства для 3D-печати. Термина «3D-принтер» на тот момент еще не существовало, поэтому аппарат Халла был назван в соответствии с запатентованной им технологией – установка для стереолитографии. [4-5]

За год до этого одессит, эмигрировавший в США, Михаил Фейген разработал технологию формирования трехмерных моделей из послойного листового материала. Технология заключается в том, что тонкие плёнки

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

нарезаются слоями и соединяются в готовый элемент под действием давления или нагрева. Патент на данную технологию Михаил получил в 1988 году. [6-8]

В 1989 году Скотт Крамп запатентовал технологию моделирования методом наплавления (FDM). Уже в 1991 году появился первый 3D-принтер с печатающей головкой. [9-10]

Первое упоминание о 3D-печати в качестве строительной технологии датируется 1997-м годом. Данный качественно новый подход к строительству зданий и сооружений был предложен ученым и исследователем Джозефом Пегна. [11]

В 1998 году профессор университета Южной Калифорнии Бехрох Хошневис разработал технологию Contour Crafting (CC) (рис.7). Хошневис в команде с другими исследователями создал огромный 3D-принтер, оборудованный опорной рамой и специальным «носиком» (экструдером), через который тонкой струей слой за слоем экструдируется (выдавливается) строительная смесь. 3D-принтер, или так называемый Contour Crafter, устанавливается на параллельные друг другу рельсовые направляющие, расстояние между которыми должно быть немного больше ширины будущего здания. Принтер плавно скользит по этим направляющим и автоматически осуществляет процесс строительства в соответствии с компьютерной моделью объекта, загруженной в систему принтера (3D CAD модель). 3D-принтер Хошневиса может построить здание площадью около 233 квадратных метров, включая каналы для инженерных коммуникаций. [12-14]



Рис.7 Технология «Contour Crafting»

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18



скоростного строительства для возведения зданий произвольных сложных форм. В результате он сделал вывод, что возведение зданий, имеющих нестандартную форму, позволяет снизить стоимость строительства и предоставить свободу выбора геометрии. [18-19]

В 2009 году Ричардом Басуэллом и его коллегами была представлена новая технология 3D-печати – Concrete Printing (CP). Данная технология аналогична технологии CC. Concrete Printing также основана на послойном экструдировании строительной смеси. Однако отличие все же существует и заключается оно в том, что на экструдере принтера, функционирующего на основе технологии CP, отсутствуют шпатели, а это дает возможность создавать еще более сложные формы и геометрии. Однако отсутствие шпателей несет собой и недостаток в виде появления необходимости дополнительной обработки поверхности напечатанного сооружения. [4, 16]

В 2009 году Энрико Дини вместе с архитектором Андреа Морганте работал над проектом 3D-печатного трехметрового в высоту павильона Радиолария (рис.9), по форме напоминающего огромное яйцо с гигантскими отверстиями в его поверхности. Данный архитектурный объект был напечатан при помощи технологии D-Shape отдельными секциями, которые впоследствии были собраны в единую структуру. Кроме этого, в 2013 году Энрико Дини в сотрудничестве с компанией Universe Architecture также разработал проект дома в форме ленты мёбиуса (рис.10). [4]



Рис.9 Модель павильона «Радиолария»

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

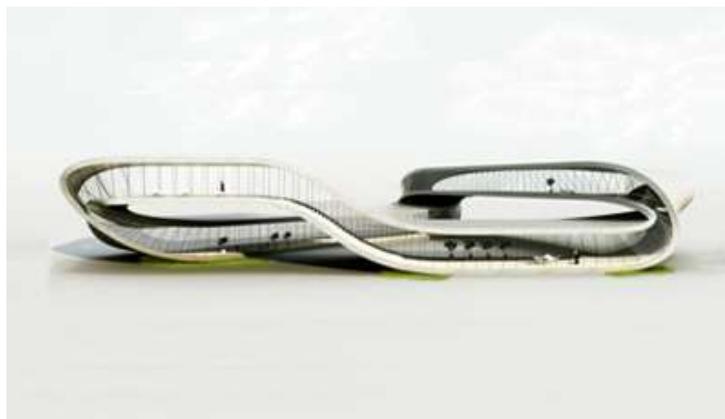


Рис.10 Проект дома Мёбиуса

В 2010 году профессор Мариборского университета в Словении Дэниэл Ребол разработал технологию N2MBuild, что расшифровывается как «Nano-to-Meter-Scale Building». N2MBuild разработана главным образом для того, чтобы уменьшить количество строительных отходов, свести к минимуму загрязнение окружающей среды при строительном производстве, а также снизить потребление энергии по сравнению с традиционными методами. Поэтому первая особенность данной технологии – применение неких природных материалов, которые непосредственно существуют на строительной площадке и могут быть использованы в строительстве. Вторая особенность – использование углерода в качестве основного наноматериала (отделение его от углекислого газа). Чтобы не прибегать к транспортировке и установке комплексного строительного оборудования, разработчики приняли следующее решение: строительные процессы будут проводиться на так называемом наноуровне с использованием нанороботов, которые способны выделять углекислый газ из воздуха и отделять от него молекулы углерода, выпуская кислород снова в воздух. Нанороботы создают трехмерные углеродные нанотрубки с необходимыми характеристиками. Над площадкой строительства располагают световые прожекторы, которые питают нанороботов и снабжают их инструкциями на основе загруженной ВМ-модели. Эти прожекторы производят непрерывное горизонтальное «световое» сечение, которое двигается по контуру будущей конструкции снизу вверх. Проемы в стенах в

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

процессе строительства заполнены углеродом, который в данном случае служит вспомогательным материалом для обеспечения жесткости конструкции, а через некоторое расчетное время снова переходит в воздух. Однако полностью интегрированная в процесс BIM-модель с требуемой для данной технологии точностью на данный момент не изобретена. [20]

Профессор университета Лафборо Тхань Ли в 2012 году провел экспериментальное исследование с целью определения оптимального состава фиброармированной мелкозернистой бетонной смеси, обладающей высокими эксплуатационными характеристиками для 3D бетонной печати. В качестве добавок, применяемых для достижения требуемого уровня прочности смеси, использовался микрокремнезем (20%) и зольная пыль (10%). Для обеспечения высокой точности печати в смесь был добавлен песок. Цемент СЕМ-1 марки 52.5, зольная пыль и неуплотненный микрокремнезем сформировали вязущий компонент смеси. Сухие компоненты, добавленные к воде для затворения вместе с поликарбонатом, сыграли роль суперпластифицирующей добавки, что позволило снизить отношение количества воды к количеству вязущего и, следовательно, увеличить удобоукладываемость смеси и ее прочность. В качестве добавки для замедления процесса схватывания использовались аминотрис (метилен фосфокислота), лимонная кислота и формальдегид. Данная добавка обеспечивает достаточное время схватывания, а также равномерность потока смеси в процессе печати. Также к смеси была добавлена добавка-ускоритель, состоящая из сернистой, алюминиевой соли и диэталаномила, для контроля осадки. В бетон также была добавлена арматура в виде полипропиленовой микрофибры (12 мм длиной и 0.18 мм диаметром). [21-22]

В 2012 году профессор Йонг Мао и его коллеги из университета Ноттингема осуществили идею 3D-печати балок. Учеными был предложен абсолютно новый способ создания строительных балок – с помощью фрактальных структур, изготавливаемых по технологии 3D-печати. Выполнив свой проект они доказали, что балки, изготовленные таким методом, имеют меньший вес,

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

но при этом их прочность в десять раз выше, чем прочность традиционных стальных балок. [23]

Эстафета строительной 3D-печати в 2013 году перешла к архитектурно-строительной студии «Emerging Objects» из Новой Зеландии. Было принято решение заменить пластик не песком, а специальным материалом в виде порошка. На 3D-принтере компании «Z-Corporation» архитекторы печатали строительные плитки. Слои порошкообразного материала скреплялись при помощи жидкого связующего раствора. Данная техника дала возможность применения практически любых материалов для печати объекта требуемой прочности, который способен выдерживать вес человека. Архитекторы студии «Emerging Objects» возвели 90 сантиметровую стену, состоящую из тонких соляных плиток толщиной в сантиметр (рис.11), которые обладали высокой прочностью за счет своей формы многоугольника. [24]



Рис.11 Стена из распечатанных соляных плиток

В том же году архитекторы компании «DUS Architects» из Амстердама начали разработку проекта 3D-печати так называемого «canal house» – здания, выстроенного вдоль водного канала (рис.12). Для строительства проектом предусматривается использование их собственного принтера под названием Kamer Maker (6 метров в высоту). Этот принтер может изготавливать конструкции размерами 2.2x2.2x3.5 м. Впоследствии здание будет функционировать в качестве музея искусств с двенадцатью залами,

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

посвященными различным видам исследований в сфере 3D-печати. В качестве материала для печати Kamer Maker использует полипропилен, который достигает требуемой для слоев прочности путем нагрева. Хэдви́г Хейнмэнн, один из архитекторов компании «DUS Architects», планирует доказать, что печать отдельных компонентов здания непосредственно на строительной площадке позволит полностью избавиться от строительных отходов и минимизировать расходы на транспортировку. Мобильность принтера является его главным преимуществом, так как это позволяет перемещать принтер куда угодно. А благодаря этому расходы на транспортировку материалов и их хранение на строительной площадке практически исчезнут. Время, запланированное для реализации проекта, было предварительно рассчитано так, чтобы архитекторы имели возможность полностью изучить технологию 3D-печати и разработать подходящие материалы. Проект планировалось закончить в 2018 году. [4, 25]



Рис.12 Проект «Canal house»

В 2014 году китайская компания «WinSun Decoration Design Engineering» напечатала первые десять зданий-офисов для шанхайского индустриального парка (рис.13) при помощи разработанного ими принтера WinSun, имеющего размеры 150 метров в длину, 10 метров в ширину и более 6 метров в высоту. В качестве материала использовалась смесь из строительных отходов, включая

					AC-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

стекло, сталь и цемент. Стоимость каждого здания составила около 270 тысяч рублей, площадь – 200 квадратных метров. Срок строительства – 24 часа. [4]



Рис.13 Дома, напечатанные компанией WinSun

Постепенно технология была усовершенствована, и в 2015 году компания изготовила несколько разнотипных зданий, самое высокое из которых насчитывало пять этажей, и представила их на выставке в промышленном парке китайской провинции Цзянсу. Стоимость этих домов начиналась от 7 миллионов рублей. Экономия при возведении зданий с использованием 3D-принтера WinSun составляет около 50% в сравнении с применением традиционных методов строительства. Инженеры компании «WinSun Decoration Design Engineering» также разработали собственный рецепт изготовления строительной бетонной смеси для печати зданий на 3D-принтере (nkby Winsun), а также метод строительства внутренних стен с использованием гофрированного заполнителя (рис.14). [26]



Рис.14 Технология 3D-печати компании WinSun

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Помимо компании «WinSun Decoration Design Engineering» в 2014 году новый строительный 3D-принтер представила компания «Qingdao Unique Technology». Его размеры составляют 12x12x12 м. Принтер также работает по технологии моделирования методом наплавления. В качестве строительного материала используется стеклянный армированный пластик, который демонстрирует высокие антикоррозионные и водонепроницаемые свойства. [4]

В это же время в Миннесоте архитектор Андрей Руденко при помощи 3D-принтера построил бетонный замок со своим собственным задним двориком (рис.15). Эта конструкция имеет размеры 3x5 м и является первым в мире печатным замком, а также на данный момент одним из самых больших объектов когда-либо построенных по технологии 3D-печати. Архитектор планирует приобрести новый принтер, способный работать 24 часа в сутки, непрерывно до тех пор, пока проект не будет закончен. [4]



Рис.15 3D-напечатанный замок Андрея Руденко

Профессор Арнауд Пэррот из университета Южной Бретани в 2015 году разработал модель прогнозирования процесса разрушения бетонной конструкции в процессе применения аддитивной технологии. Эта модель позволяет оптимизировать наращивание конструкции при 3D-печати. В первой части работы предлагаются теоретические основы строительства конструкций

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

из материалов на основе цемента, а также нагрузки, возникающие в процессе печати. Далее в работе приводятся экспериментальные тесты для бетонной колонны, которые проводились ученым при помощи имитации этих нагрузок. Сравнение теоретических основ с практическими результатами экспериментов показало, что при использовании аддитивной техники производства и метода послойного наплавления должно приниматься во внимание наращивание конструкции. [27]

В 2015 году компания «СПЕЦАВИА» запустила первое в Европе и СНГ серийное производство строительных 3D-принтеров. С целью демонстрации применимости строительной 3D-технологии на практике и возможностей строительных принтеров, в этом же году специалистами «СПЕЦАВИА» методом 3D-печати было начато возведение жилого дома под Ярославлем, которое окончилось в 2017 году (рис.16). Площадь этого здания составила 298.5 квадратных метров. Это самый большой дом в Европе и СНГ, построенный с применением аддитивных технологий. [28-29]



Рис.16 Распечатанный жилой дом в Ярославле

В 2016 году Клемент Госселин из университета Лавалья в Канаде представил новую технологическую схему аддитивного строительного производства из бетона, имеющего ультравысокие эксплуатационные характеристики. Процесс

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27





строительную площадку. 3D-принтер может возводить здания высотой до 5,5 метров. Однако недостаток такого оборудования заключается в уязвимости к механическим повреждениям, воздействию сильных порывов ветра, влажности и другим климатическим факторам. [33]



Рис.20 Мобильный комплекс X1 3D Printing

Кроме этого в 2017 году исследователи Массачусетского технологического института разработали принтер, названный Digital Construction Platform (DCP). Оборудование представляет собой большой гидравлический кран на гусеничном ходу (рис.21). В качестве строительного материала DCP может применять как бетон, так и лёд, грунт, а также пенополиуретан. Инновационная система работает на солнечных панелях и аккумуляторных батареях. По словам разработчиков, печать может происходить также и при помощи различных биоматериалов — таких как, например, сено. Однако принтер DCP еще невозможно применять на практике в реальных условиях строительства, так как перед этим необходимо оборудовать систему датчиками приближения с целью увеличения безопасности на площадке. [34]



Рис.21 Digital Construction Platform





цементных блоков, изготовленных при помощи этого летающего прототипа.

[38]



Рис.25 Прототип летающего 3D-принтера Dedibot

Проанализировав все исследования в сфере строительной 3D-печати зданий, а также результаты ее практического применения, можно сделать вывод о том, что использование данной технологии имеет следующие преимущества перед традиционными методами:

1. улучшенное качество строительной продукции;
2. автоматизированность операций и возможность удаленного управления процессом строительства;
3. высокая точность расчетов;
4. снижение потребности в рабочей силе и затрат на нее;
5. свобода выбора форм и геометрии зданий и сооружений;
6. высокая степень оптимизации строительных процессов;
7. разработка новых строительных материалов и процессов;
8. уменьшение сроков строительства. [4]

Кроме этого можно выделить следующие положительные стороны применения в строительстве технологии 3D-печати:

- возможность печати как непосредственно на строительной площадке, так в заводских условиях;

									Лист
									33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

АС-278-08.04.01-2019-ПЗ

- значительное сокращение требуемых ресурсов и производственных отходов;
- сокращение транспортных расходов, если продукция печатается на строительной площадке;
- повышение безопасности строительных работ (если 3D-печать будет использоваться для монтажа конструкций, которые при использовании классических методов строительства нуждаются в специальном оборудовании и мерах предосторожности);
- экологически чистые переработанные продукты могут быть использованы для производства строительных материалов, используемых в 3D-принтерах. [39]

Исследования показывают, что внедрение в строительное производство 3D-принтеров вносит множество преимуществ. На данный момент эта технология применима преимущественно для строительства зданий малых размеров. Однако, 3D-печать может стать очень эффективным способом для строительства временных домов после разрушений, вызванных природными катастрофами. [40] Маловероятно, что строительная печать будет активно применяться в качестве метода строительства доступного жилья. Данная технология больше подходит для возведения коттеджей и вилл класса люкс, имеющих необычные сложные формы, а также для строительства космических сооружений – на луне или марсе. [41]

Важной составляющей технологии 3D-печати является строительная смесь. При возведении зданий необходимо обеспечить ее правильную подачу, укладку и набор ею требуемой прочности. В ходе многочисленных исследований было определено 5 главных свойств, которыми должна обладать качественная строительная смесь для 3D-печати:

- экструдированность (свойство материала, необходимое для его плавной подачи экструдером принтера);

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

- подвижность или текучесть (материал не подходит для 3D печати, если он имеет очень высокую подвижность, то есть если он быстро и легко растекается);
- способность наслаивания (свойство слоя материала сопротивляться деформациям под нагрузкой другого слоя, необходимое для сохранения сооружения своей формы);
- время схватывания (период времени, за который материал набирает требуемую прочность);
- сцепляемость между слоями (должна быть высокой, чтобы материал имел возможность сопротивляться поперечным нагрузкам, возникающим ввиду различных факторов окружающей среды). [4, 42-43]

Исследования также определяют перспективные материалы для применения строительными 3D-принтерами в будущем [43]:

#### 1) Зеленые и экоустойчивые материалы

Наиболее часто используемый при печати материал – цементный раствор. Однако производство цемента влечет за собой значительное загрязнение окружающей среды, а также большие затраты энергии. Поэтому на данный момент существует острая необходимость в разработке «зеленого» строительного материала. Помимо этого должно уделяться внимание возможности использования возобновляемых материалов, а также строительных отходов (золевая пыль, шлак). Это сделает строительный процесс гораздо чище и экологичнее;

#### 2) Функциональные строительные материалы

Такие современные материалы, как фибробетон и гибкий бетон, в будущем смогут полностью заменить традиционный бетон. Их применение позволяет не только выполнять необычные геометрические формы при возведении сооружений. На практике они проявляют высокую энергоэффективность, экоустойчивость и надежность. Фибробетон и гибкий бетон являются подходящими материалами для строительной 3D-печати, так как в отличие от

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

традиционного бетона они имеют такие свойства, как высокая эластичность и изгибная прочность;

### 3) Функционально-градиентные строительные материалы

При изменении способа 3D-печати нижнюю часть конструкции при помощи таких материалов можно печатать материалами тяжелее и прочнее, а верхнюю – материалами более легкими. Это может снизить стоимость и потребность в материалах в сравнении с гомогенными структурами.

Абсолютно автоматизированная технология 3D-печати, которую было бы возможно применить на практике, еще не разработана. Однако постепенно все задачи, которые сейчас выполняются строителями вручную, можно переложить на плечи роботов. Например, швейцарские инженеры уже представили робота-сварщика, который умеет создавать арматуру разнообразных форм, а австралийская компания «Fastbrick Robotics» планирует разработать роботов-укладчиков кирпичей. На данный момент проблема с установкой арматуры и укладкой утеплителя в конструкции решается просто. Арматура устанавливается рабочими по мере печати слоев, коммуникации – после застывания строительной смеси, а затем внутреннее пространство заполняется утеплителем, бетоном и дополнительной арматурой.

Основными проблемами, решение которых позволит обеспечить серьезное развитие аддитивных строительных технологий, являются:

- отсутствие нормативной базы;
- необходимость развития рынка строительных материалов для 3D-печати;
- высокая стоимость оборудования (однако, если строительная компания осуществляет возведение коттеджного поселка или частного малоэтажного дома, то, принимая во внимание всю экономию, которую влечет за собой применение 3D-технологии, приобретение принтера за два миллиона рублей окупит себя после строительства шести домов [40]);
- дорогостоящая транспортировка 3D-принтеров;
- затраты на создание цифровой модели.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

## 1.2.2 Патентный поиск

В дополнение к литературному обзору был проведен патентный поиск по изобретениям в области 3D печати. Нами были рассмотрены следующие категории:

- технологии печати;
- материалы для печати;
- оборудование для печати.

### Технологии

#### 1. Номер: RU2636605C1

Название: Способ автоматического возведения сооружений

Анализ: В данном патенте представлен способ автоматического безопасного строительства зданий. Он заключается в послойной укладке материалов с высокой скоростью твердения по периметру будущего сооружения в виде непрерывными витков до полного формирования стеновых конструкций. Одновременно с этим предполагается автоматическая укладка арматуры и устройство утеплителя.

Прототип: «Кокон-технология». Данный способ не предусматривает автоматического армирования и автоматической укладки теплоизоляционного материала. Данные аспекты освещает анализируемый патент.

Технический результат: разработанная технология способствует повышению производительности; расширению возможностей безопасного строительства, снижению его стоимости, изготовлению конструкций не только из бетонной смеси.

#### 2. Номер: US20150239148

Название: Spray Printing Construction

Анализ: В заявке представлены системы и способы 3D-печати конструкций методом распыления.

Система включает в себя распылительное устройство, соединенное с вращающейся ферменной конструкцией и перемещающееся вдоль нее, а также

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

компьютер для контроля за процессом. Сначала происходит определение требуемой траектории распыления материала, что определяется компьютерной моделью. Затем система активируется и материал распыляется по заданному контуру.

В виду регулируемого положения распылительных устройств данное оборудование может быть использовано для создания конструкций любого масштаба, в том числе крупногабаритных сооружений.

3. Номер: RU2656061C1

Название: Способ непрерывной трехмерной заливки монолитных стен из стекломассы (варианты) и устройство для его осуществления

Анализ: Предлагаемый способ основан на нанесении материала стен при помощи стекловаренной печи, которая перемещается по заданному контуру. Система запускается, стекловаренная печь начинает перемещаться в трехмерном пространстве. Одновременно с этим в нее загружается строительный материал, внутри происходит его плавление. Затем расплавленный материал дозированно подается к соплу печи через специальные отверстия.

Аналог: способ послойной трехмерной печати зданий при помощи экструдера. Главное отличие от прототипа – использование стекловаренной печи в качестве печатающей насадки.

Технический результат: изготовление монолитных стеклянных стеновых конструкций больших габаритов, предотвращение разрушения конструкции под действием высоких температур. При этом оптимальная скорость строительства сохраняется.

4. Номер: RU2017114987A

Название: Способ возведения стен здания печатающим 3D принтером дискретной печатью

Анализ: Данный метод подразумевает печать конструкции непрерывным послойным нанесением строительной смеси. Главной отличительной

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

особенностью от других технологий является дискретность печати. То есть, экструдер с небольшой опалубкой 3D-принтера устанавливаются в проектное положение. Далее в опалубку подается строительный материал в виде специальной смеси. После того, как опалубка будет полностью заполнена, что фиксируется специальными установленными датчиками, подается импульс мощности. Происходит нагрев материала от 90 до 98°C. В результате этого набор прочности конструкцией происходит быстрее, а также осуществляется формовка. Система перемещается в следующее положение.

5. Номер: US20170283297

Название: Method for 3D printing of buildings and a device for implementation thereof

Анализ: Метод заключается в послойном нанесении материала стен специальной печатающей головкой принтера, которая перемещается в трехмерном пространстве. Для реализации могут использоваться несколько печатающих головок. Одновременно с перемещением системы происходит загрузка материала в экструдеры и дозированная его подача через отверстия в экструдерах.

Прототип: система устройств, включающая в себя печатающую головку и механизм ее трехмерного позиционирования. Недоработки прототипа заключаются в недостаточной прочности получаемых строительных конструкций в виду использования для печати материалов с плохими механическими свойствами.

Технический результат: расширение области применения способа 3D печати многоэтажных зданий. Материал стен для возведения таких зданий должен иметь более высокие прочностные характеристики, чем материал для строительства одноэтажных зданий. Стены должны выдерживать большие нагрузки. Технология способствует обеспечению возможности многослойной печати стен с использованием различных материалов для формирования

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

покрытий, которые играют вспомогательные функции, к примеру, декоративные.

6. Номер: US20170305034

Название: System and Method of Connecting Two 3D Printed Structures

Анализ: В патенте представлен способ формирования трехмерных конструкций. Способ заключается в печати двух структур, соединенных друг с другом по типу соединения частей пазла (отверстие в одной структуре, выступ в другой).

Прототип: способ соединения каркасной балки с наружной утепленной стеной здания. Стык конструкций происходит в изоляционном внутреннем слое стены. Недостаток – потребность в способе соединения двух структурных элементов, выполненных 3D-печатью, которые формируются на разных этапах процесса строительства (к примеру, стена и перекрытие).

7. Номер: RU2643138C2

Название: Система и способ аддитивного производства трехмерных структур

Анализ: В данном патенте предлагается система, включающая в себя как минимум один экструдер. Материал печати – проточная жидкость и гидрогель. В конструкции экструдера предусматриваются микроструйные каналы, струйные переключатели устанавливаемые на каждом из них. Также в комплект системы входят: специальная поверхность, на которую печатается первый слой, механизм позиционирования экструдера по трем осям, а также устройство подачи строительной смеси.

Прототип: способ наслаивания плавленных волокон биологических материалов. Недостаток – при использовании данного метода частицы материала «соединяются» с каркасом только после печати, что осложняет контроль над их положением в пространстве.

Технический результат: повышение скорости и эффективности процесса печати.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

8. Номер: US20170300038

Название: 3D construction system and method

Анализ: В патенте представлена технология 3D печати для конструктивных элементов. Система технических средств включает интерактивную трехмерную модель объекта, 3D-печатающую головку (экструдер), а также устройство онлайн-контроля работы экструдера.

Кроме того в комплект системы входит как минимум один датчик трехмерного пространства, сканирующий конструкцию и генерирующий систему снятых показаний в табличном виде. В специальном программном комплексе по показаниям датчика создается онлайн-модель уже напечатанной части объекта. Эта модель сравнивается с проектной моделью с целью выявления отклонений и погрешностей.

9. Номер: US20160332378

Название: Three dimensional (3D) delta printer frame structure

Анализ: В патенте представлены технология, относящаяся к трехмерным дельта-принтерам, функционирующим на основе метода моделирования путём направления. Система включает в себя 3D дельта-принтер, систему его перемещения в пространстве, и пространственную опорную раму, к которой крепится система перемещения 3D-принтера. Пространственная рама представляет собой множество треугольных блоков – то есть, треугольную ферму.

Задача изобретения – повышение точности 3D-печати и улучшение производительности 3D-принтера.

#### Материалы

1. Номер: RU2662838C1

Название: Модифицированный полимерцементный композиционный материал для 3D печати

Анализ: В данном патенте описывается изобретение строительного материала на цементной основе, применяемого для строительной 3D печати.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Технический результат: достижение необходимых для реализации 3D печати технологических свойств материала: высокой прочности на сжатие, высокой прочности шва, соединяющего слои, а также низких деформативных свойств, что влияет на сроки схватывания смеси.

Состав смеси:

- портландцемент;
- полимерное связующее;
- песок;
- силикат натрия (жидкое стекло);
- базальтовое фиброволокно;
- флороглюцинфурфурольный модификатор;
- вода.

Прототип: материал для 3D печати на основе цемента. Его состав:

- цемент;
- активные добавки;
- суперпластификатор;
- ускоритель твердения;
- коагулянт;
- наполнители;
- связующее вещество;
- воздухововлекающая добавка;
- пластификатор;
- гидрофобизатор;
- эфиры крахмала;
- волокна;
- порошкообразные наполнители;
- мелкий и крупный заполнитель.

Прототип имеет весомый недостаток – высокие показатели деформации материала при высоких показателях прочности.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

2. Номер: US20180250850

Название: Composite material for 3D printing produced by pultrusion method

Анализ: В работе описывается разработка композитного материала и способа его изготовления. Данный материал используется при 3D-печати зданий. Смесь может быть экструдирована как в твердой форме, так и в мягкой. Это зависит от типа оборудования.

Прототип: способ изготовления композитной конструкции путем выдавливания термопластичной смолы на стеклянные волокна под высоким давлением.

3. Номер: US9388078

Название: 3D printing powder compositions and methods of use

Анализ: В патенте представлены порошковые композиции, которые можно использовать для реализации технологии 3D-печати. Полученная прочность на сжатие сопоставима со стандартным бетоном, а прочность на растяжение на 70% больше. Представлен способ получения строительной продукции, включающий:

- приготовление порошковой композиции;
- загрузка материала в 3D-принтер;
- изготовление конструкции с последовательным нанесением порошка и связующего вещества;
- пропитка конструкции материалом для последующей обработки, состоящим из смолы, силикона и армированного волокнами пластика.

4. Номер: US20180009172

Название: Method, equipment and material for 3D printing and deposition on a surface or object with strong bond

Анализ: В патенте заявлен способ для трехмерной печати. Он включает в себя следующие этапы:

- подготовка поверхности путем нанесения одного адгезионного слоя на нее;

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

- нанесение нового слоя на клейкий слой;
- трехмерное наслаивание на подготовленной поверхности материала другого материала.

Прототип: устройство для контролируемого выдавливания слоев материала с использованием подвижной дозирующей головки (экструдера). Недостаток – ограничение нанесения материала на предыдущий слой только того же самого материала.

5. Номер: CN107619243

Название: Cement-based composite for 3D (three dimensional) building printing and preparation method of cement-based composite

Анализ: Изобретение раскрывает экологически чистый композитный материал на основе цемента для трехмерной строительной печати.

Используемый в смеси строительный мусор заменяет часть мелкого заполнителя (песка). Смесь замешивается на площадке. Композит непосредственно подается в 3D-строительный принтер, при этом в него добавляется ускоритель твердения.

Достоинства смеси:

- использование строительных и промышленных отходов;
- низкая стоимость;
- высокая экологичность;
- возможность регулировать сроки схватывания.

6. Номер: CN107603162

Название: High-strength and high-toughness 3D printing material used for buildings

Анализ: Изобретение описывает разработку высокопрочного материала для 3D-печати зданий. Материал состоит из полиэфирной смолы, полисульфидного каучука, хлорированного полиэтилена, микрокристаллической целлюлозы, порошок барита, хлорированного парафина, наполнителя, повышающего прочность материала, и добавки, повышающей его ударную вязкость.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

7. Номер: CN106082898

Название: Geopolymer composite material for 3D printing and preparation method and application thereof

Анализ: В патенте представлен геополимерный композиционный материал для 3D-печати и способ его изготовления. Материал содержит следующие ингредиенты (по весу):

- 20-25% гранулированного доменного шлака порошка, закаленного в воде;
- 10-15% шлака из измельченной стали;
- 0-5% летучей золы;
- 33-45% песка;
- 3-5% композитного активатора;
- 2,5-3% высокомолекулярного полимера;
- 1-3% стабилизатора объема;
- 1-2% тиксотропного агента;
- 0,05-0,1% пеногасителя;
- 13,9-12,45% воды для перемешивания смеси.

Вышеуказанные ингредиенты полностью и равномерно перемешивают, а затем смесь подают в 3D-принтер для осуществления строительства. Геополимерный композиционный материал обладает хорошими свойствами экструдированности, высокой прочностью и способностью сохранять свойства послойного сцепления.

#### Оборудование

1. Номер: RU2016150926А

Название: Автомобильная установка автоматизированного послойного безопалубочного нанесения бетона, головка для печати бетоном, метод возведения зданий путем 3D печати

Анализ: Предлагаемая система способна сама перемещаться по объекту. Установка размещается на автомобильном шасси с выдвигаемыми опорами. Она

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

включает в себя печатающую головку с программным контролем, которая располагается на роботе-манипуляторе.

Поворотная печатающая головка состоит из платформы, растворонасоса, поворотной муфты и поворачиваемой насадки, которая выдает раствор на подготовленную поверхность.

Разработанный метод возведения зданий заключается в экструдировании смеси под давлением. При этом экструдер движется по запрограммированному пути.

## 2. Номер: RU2652494C2

Название: Объемная (3D) печать эпоксидной смолы, отвердителя и подлежащих сборке частей объекта

Анализ: В патенте предлагается строительный принтер и способ дозирования смеси с целью формирования объемной подструктуры и послойной укладки адгезивного слоя на нее. Адгезивный материал может использоваться для соединения двух подструктур между собой.

Нанесение адгезива принтером одновременно с печатью подструктуры способно улучшить позиционирование экструдера, точность выдачи смеси, что в свою очередь поднимет уровень качества всей печатной конструкции. Реализация изобретения влечет за собой сокращение времени и стоимости строительства.

## 3. Номер: RU2620807C2

Название: Система и комплект оборудования для трехмерной печати

Анализ: В патенте представлен комплекс изобретений для 3D печати.

Комплект оборудования включает в себя:

- систему формовочных модулей, сцепленных с конвейерной системой,
- систему формовки;
- систему удаления жидкости;
- систему извлечения.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Формовочная система включает в себя конвейер, множественные формовочные модули и по меньшей мере одну формовочную станцию, имеющую систему нанесения порошковых слоев и печатающую систему. Комплект оборудования может быть использован для изготовления фармацевтических, медицинских и нефармацевтических/немедицинских объектов. Он может быть использован для приготовления единичных или множественных изделий.

Технический результат: использование для непрерывного или серийного производства посредством трехмерной печати с минимальной потерей продукта, высокой эффективностью и высокой повторяемостью продукта в связи с гибкостью продукта.

4. Номер: RU2641945C2

Название: Устройства, системы и способы трехмерной печати

Анализ: В данном патенте представлено изобретение для создания трехмерного объекта, а также метод формирования этого объекта.

Устройство оперирует лазерным источником света. Специальный сканирующий модуль имеет возможность сканирования этого пучка по входящей в комплект оборудования подложке с учетом заданной формы объекта. С лазерным источником света соединена компьютерная система, контролирующая его работу.

Технический результат: разработка мощного лазерного источника видимого диапазона излучения высокой яркости с целью повышения качества разрешения и увеличения скорости.

5. Номер: US9206601

Название: Contour crafting extrusion nozzles

Анализ: Разработка представляет собой автоматизированную систему, функционирующую по методу экструзии. Она включает в себя экструзионную насадку (экструдер) для дозирования строительного материала в

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

горизонтальном направлении относительно вертикальной поверхности. Сопло экструдера имеет механизм, позволяющий регулировать высоту его положения.

Если в системе используются несколько печатающих головок, манипулировать ими могут специальные роботы, функционирующие под управлением компьютера.

Данному процессу присвоено название «Contour Crafting».

Возможный недостаток заключается в трудностях, связанных с печатью многослойных стен. Кроме того сложным может оказаться процесс изготовления проемов в таких стенах под окна и двери.

6. Номер: US20070181519

Название: Deployable Contour Crafting

Анализ: Представленное в патенте оборудование включает в себя транспортное средство и порталную систему. Портальная система может быть выполнена с возможностью транспортировки и использования в полевом варианте. Представленный процесс изготовления конструкций заключается в перемещении транспортного средства по площадке, в то время как порталная система находится непосредственно в этом транспортном средстве или частично им поддерживается.

Данный патент стал прорывом в области строительной 3D печати, дав распространение такому типу печати, как контурное строительство – самому популярному на сегодняшний день методу.

7. Номер: US20180311895

Название: Three-dimensional (3D) printer

Анализ: Представленный в патенте 3D-принтер состоит из основания для конструкции, каретки, перемещаемой вдоль этого основания, и арки, соединенной с кареткой и перемещаемой совместно с ней. Арка опирается на две стойки. Поперечная опора соединена с аркой, проходит между стойками и также является подвижной. Экструдер соединен с поперечной опорой (балкой) и может перемещаться вдоль нее от одной стойки к другой.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

8. Номер: RU2424904C2

Название: Устройство для послойного изготовления трехмерного объекта

Анализ: Разработанное и представленное в патенте устройство состоит из машинной рамы и строительного пространства, расположенного непосредственно в ее границах. В строительном пространстве находятся:

- устройство послойной печати;
- дозирующее устройство (экструдер);
- нагревательный элемент (для нанесенных слоев).

Прототип: устройство для 3D печати, функционирующее по методу лазерного спекания. Проблема таких устройств – загрязнение строительного пространства. Отсюда возникает необходимость периодичной очистки пространства и компонентов, которые его составляют. На очистку и замену компонентов на практике уходит много времени.

Технический результат: снижение затрат на выполнение строительных работ по очистке и тех. обслуживанию оборудования.

9. Номер: US20180178314

Название: 3D printing apparatus and a corresponding 3d metal printing method

Анализ: В данном патенте предлагается устройство для трехмерной печати объекта, содержащее модуль сборки, имеющий платформу сборки и модуль печати. Модуль печати содержит входное отверстие для приема материала и выходное отверстие, через которое материал экструдируется и наносится на печатаемый объект. Модуль печати дополнительно включает специализированную головку, выполненную с возможностью непосредственного присоединения материала к строительному объекту, содержащую ультразвуковой элемент, который позволяет осуществлять приваривание материала к строящемуся объекту.

10. Номер: US20170121959

Название: Machine Control System for Contour Crafting

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Анализ: Изобретение представляет собой система контроля технологии Contour Crafting. Система включает в себя рабочий инструмент, формирующий первый слой путем нанесения материала из печатающей головки и определения траектории для нанесения второго слоя материала поверх первого. Система дополнительно включает в себя оптический узел для создания светового рисунка и камеру для захвата данных изображения ранее нанесенного материала. Система также включает в себя устройство обработки для получения из данных изображения видимого формирования светового рисунка, когда он проецируется на ранее нанесенный материал. Устройство обработки также корректирует путь следования рабочего инструмента, если второй слой не выровнен с первым.

11. Номер: CN106320342

Название: 3D printing device and method for underground construction

Анализ: Изобретение представляет собой устройство и способ 3D-печати для подземного строительства. Изобретение состоит из модульного трехосевого направляющего устройства, самоадаптирующегося расширительного устройства, устройства 3D-печати, подключенное к модульному трехосному приводному направляющему самоадаптирующемуся устройству, а также направляющее устройство для выемки грунта.

Технология решает проблему невозможности осуществления выемки грунта, конструкции стены и подобного грунтового тела подземного сооружения при существующем способе 3D-печати. Предложена эффективная и безопасная автоматизированная технология возведения подземного сооружения. Решены такие проблемы, как низкая эффективность строительства и низкая степень автоматизации обычной строительной конструкции, а также проблема, заключающаяся в том, что обычное печатающее устройство нельзя перемещать, расширять в горизонтальной плоскости. Печатающее устройство и туннельное устройство используют модульные направляющие рельсы, так что устройство трехмерной печати может достигать трехосного самоадаптивного

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

расширения и может перемещаться, и подходит для строительства большого количества сложных зданий уникальной формы.

12. Номер: US20160361834

Название: 3-D Printer In Polar Coordinates

Анализ: Данное изобретение относится к области автоматической 3D-печати зданий или сооружений и способу ее применения. Изобретение представляет собой 3D-принтер, имеющий выдвижную стрелу с экструдером для выдавливания химического раствора на основе бетона, которая перемещается с поступательным и вращательным движением в плоскости XOY. Выдвижной рычаг стрелы установлен так, что он может регулироваться по высоте в плоскости XOZ.

13. Номер: WO/2018/098129

Название: 3D printer on active framework

Анализ: Изобретение представляет собой 3D принтер с подъемным механизмом. Подъемный механизм содержит выдвижные телескопические колонны, представляющие собой концентрические цилиндры, расположенные друг в друге, что дает возможность им полностью расширяться и складываться, поднимая и опуская 3D-принтер до определенной высоты. Подъемный механизм также содержит диагонали, которые спирально соединяют соседние телескопические колонны на их верхних частях. Диагонали устанавливаются для обеспечения прочности при работе подъемника, а также для позиционирования подъемника на желаемой высоте, когда диагонали зафиксированы на месте.

14. Номер: WO/2018/162858

Название: 3D Concrete Printer

Анализ: изобретение представляет собой мобильный 3D-печатающее устройство, которое крепится к подъемному устройству с помощью троса или цепи. Устройство состоит из печатающей головки, средства крепления и средство стабилизации положения печатающей головки с помощью

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

гироскопического эффекта. Благодаря данному устройству появляется возможность управлять положением печатающей головки и сокращать трудозатраты и время установки.

**Выводы:**

На данный момент было проведено множество различного рода исследований в сфере 3D печати. Были опубликованы патенты изобретений, направленные на совершенствование технологии, смесей и оборудования. По части технологии предпринимались попытки ускорить процесс строительства. При разработке новых материалов для печати внимание уделялось улучшению таких свойств, как прочность, степень экструдированности и экологичность. Исследования в области оборудования раскрыли множество вариантов исполнения принтеров. Однако все они базируются на базовой технологии – печати по контуру методом наслаивания. Упоминаний о применении строительных принтеров для возведения временных сооружений выявлено не было.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

## 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Анализ рынка временных зданий сборно-разборного типа

#### 2.1.1 Обзор производителей

В данной работе были рассмотрены 4 производителя сборно-разборных временных зданий, функционирующих в городах России:

1. ООО «РОСМОДУЛЬ» (г. Санкт-Петербург) [44];
2. «Boxton» (г. Москва) [45];
3. ООО «Вахта» (г. Екатеринбург) [46];
4. АО «Компания инноваций и технологий» (г. Челябинск) [47].

#### 1. ООО «РОСМОДУЛЬ»

Компания предлагает сборно-разборный блок-контейнер – готовый к сборке комплект панельно-стоечных конструкций, включающий в себя основания пола и потолка, боковых стоек, стеновые панели и элементы крепления. Стеновые панели имеют внешнюю и внутреннюю отделки, окна, двери и электропроводку. Преимущество данных транспортных пакетов в том, что они позволяют осуществлять перевозку любым видом транспорта. Одна машина вмещает до 6 сборно-разборных блок-контейнеров.

Стеновые панели сборно-разборных блок-контейнеров РосМодуль представляют собой сборные взаимозаменяемы сэндвич-панели с наружным слоем из металлического листа толщиной 0,5 мм с полимерным покрытием. В таблице 1 представлены размеры и цены блок-контейнеров данного производителя.

Таблица 1

Стоимость зданий компании РОСМОДУЛЬ в зависимости от размеров

Снаружи, максимальные			Стоимость, руб.	Цена, руб./м <sup>2</sup>
длина, мм	ширина, мм	высота, мм		
4 885	2 435	2 590	от 270000	26800
6 055	2 435	2 590	от 306000	24200
7 335	2 435	2 590	от 348000 руб	22500





- изоляция – минеральная вата;
- оснащение – дверь внешняя, окно с наклонно-поворотным механизмом и с интегрированными роль-ставнями;
- конвектор электрический мощностью 2 кВт для обогрева.

В таблице 5 представлены цены на основные типы зданий.

Таблица 5

Стоимость зданий производителя в зависимости от размеров

Тип	Размеры			Площадь (м <sup>2</sup> )	Цена, тыс. руб.	Цена за м <sup>2</sup> , руб.
	Длина (мм)	Ширина (мм)	Высота (мм)			
ТР10	2989	2435	2591	7,28	226,1	31000
ТР16	4885	2435	2591	11,89	261,1	22000
ТР20	6055	2435	2591	14,74	303,5	20600

Для расчета принимаем среднюю стоимость 19 тыс. руб. за 1 м<sup>2</sup>.

2.1.2 Подсчет затрат на приобретение и эксплуатацию

1) Покупка сборно-разборного временного здания

Для обеспечения временными зданиями стройплощадки, на которой строится 10-этажное здание, необходимо, в среднем, 90 м<sup>2</sup>. Это может быть, как 6 блок-контейнеров, по 15 м<sup>2</sup> каждый, так и одно большое здание, например, общежитие. Все затраты будем считать на приобретение сборно-разборных временных зданий общей площадью 90 м<sup>2</sup>

Затраты на покупку сборно-разборных временных зданий составляют:

$$S_{\text{пок.}} = 90 \cdot 19000 = 1710 \text{ тыс. руб.}$$

2) Транспортировка сборно-разборного временного здания

Преимущество технологии «Транспак» - компактность при транспортировке. Так, для перевозки необходимого количество блок-контейнеров общей площадью 90 м<sup>2</sup> достаточно одного рейса манипулятора-самопогрузчика.

Компании, предоставляющие услуги перевозки манипуляторами-сампогрузчиками рассмотрены в пункте 2.2.2.2.

Средняя стоимость аренды составляет 1000 руб/ч.

Затраты на транспортировку со склада до строительной площадки:

$$S_{\text{транс.}} = 2 \cdot 1000 = 2 \text{ тыс. руб.}$$

### 3) Временное хранение вне стройплощадки

Нужно обеспечить хранение временных зданий в периоды, когда одна стройка закончилась, а следующая еще не началась. Для этих целей необходим склад.

Для хранения в разобранном виде зданий общей площадью 90 м<sup>2</sup> достаточно 15 м<sup>2</sup>. Анализ складов в г. Челябинск рассмотрен в пункте 2.2.2.3. Общая стоимость размещения модульных блок-контейнеров на складе составляет 2,8 тыс.руб/мес. Примем срок хранения – 2 месяца.

Затраты на хранение сборного разборного здания вне строительной площадки:

$$S_{\text{хр.}} = 2 \cdot 2800 = 5,6 \text{ тыс. руб.}$$

### 4) Установка сборно-разборных временных зданий

Состав работ:

- разработка и перемещение грунта;
- укладка фундаментных блоков;
- установка и сборка блоков контейнеров.

Важным этапом при возведении сборно-разборного здания является подготовка фундаментного основания. Существует несколько видов фундаментов для данного типа зданий:

- брусковое основание;
- фундамент из дорожных плит;
- монолитное или ленточное фундаментное основание;
- винтовые сваи. [48]

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

Самым простым, но надежным фундаментом под небольшой мобильный объект является брусковое основание. Как правило, в данном случае используется прямоугольный брус 200x200 мм, который укладывается на подготовленную площадку. Чтобы подготовить площадку, необходимо снять плодородный слой грунта и засыпать гравием и песком.

а) Затраты на приобретение песка и гравия

Производители, у которых можно купить песок и щебень подробно рассмотрены в пункте 2.2.2.4. Средняя стоимость песка за 1т составляет 200 рублей, 1т щебня стоит в среднем 270 рублей.

Необходимый объем подсыпки из песка и гравия –  $90\text{м}^2 \cdot 0,2\text{м} = 18\text{ м}^3$ .

Соотношение песка и щебня принимаем 20% и 80% соответственно. Значит, необходимый объем песка –  $3,6\text{ м}^3$ , щебня –  $14,4\text{ м}^3$ .

Плотность песка в среднем составляет  $1500\text{ кг/м}^3$ .

Тогда требуемый вес песка –  $1500\text{ кг/м}^3 \cdot 3,6\text{м}^3 = 5400\text{ кг} = 5,4\text{ т}$ . Затраты на покупку песка –  $5,4\text{ т} \cdot 200\text{ руб./т.} = 1100\text{ руб.}$

Плотность щебня (фракция 40-100 мм) –  $1650\text{ кг/м}^3$ . Требуемый вес щебня –  $1650\text{ кг/м}^3 \cdot 14,4\text{м}^3 = 23760\text{ кг} = 23,76\text{ т}$ . Затраты на покупку щебня –  $23,76\text{ т} \cdot 270\text{ руб/т} = 6500\text{руб}$

Минимальная стоимость доставки материалов по городу – 1800 руб.

Расходы на покупку песка и щебня:  $S_{\text{подс.}} = 9,5\text{ тыс. руб.}$

б) Затраты на приобретение бруса

Рассмотрим 4 производителя, предлагающих покупку бруса в г. Челябинск:

- ООО ПСК «Атлант» [49];
- ООО «Лесмастер» [50];
- ООО «ЛесПромТорг» [51];
- ООО «Урал-партнер».

Цена на пиломатериал зависит от степени обработки, вида древесины и сезонности. В табл.6 приведена средняя стоимость обрезного пиломатериала сечением 200x200 мм и длиной 6 м.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

## Средняя стоимость пиломатериала

		Цена, руб. за м <sup>3</sup>	Цена, руб. за шт.
Сосна	Естественная влажность	7000	1700
	сухой	8500	2100
Лиственница	Естественная влажность	7600	1900
	сухой	9000	2200

Средняя стоимость одного бруса сечением 200х200 и длиной 6 м составляет 2 тыс. руб.

На устройство здания площадью 15 м<sup>2</sup>, длиной 6 м и шириной 2,5 м требуется 2 бруса длиной 6 м. Поскольку расчет ведем относительно здания общей площадью 90 м<sup>2</sup>, то нам понадобятся 12 брусов длиной 6 м.

Расходы на покупку:  $S_{брус.} = 24$  тыс. руб.

в) Затраты на оплату труда рабочих

Согласно [52] на 100м<sup>3</sup>:

- затраты труда рабочих-строителей – 52,48 чел/ч;
- затраты труда машинистов – 4,98 чел/ч.

Общий требуемый объем временных зданий примерно составляет 225м<sup>3</sup>.

Таким образом, затраты труда на сборку зданий:

- затраты труда рабочих-строителей – 118,08 чел/ч;
- затраты труда машинистов – 11,2 чел/ч.

По расчету на основе расценок за март 2014 года:

- оплата труда рабочих – 5 942,65 руб.;
- оплата труда машинистов – 2 511,53 руб.

Следовательно, оплата труда на сборку сборно-разборного здания общей площадью 90 м<sup>2</sup> составляет:

- оплата труда рабочих – 701 тыс. руб.;
- оплата труда машинистов – 28 тыс. руб.

$$S_{опл.} = 729 \text{ тыс. руб.}$$

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

### 2.1.3 Экономическая эффективность

Общие затраты на приобретение сборно-разборного здания площадью 90 м<sup>2</sup>, включающие в себя его покупку, транспортировку по городу, установку на площадке и временное хранение между стройками, составляют:

$$S = S_{\text{пок.}} + S_{\text{транс.}} + S_{\text{хр.}} + S_{\text{уст.}} = 1710 + 2 + 5,6 + 762 = 2480 \text{ тыс. руб.}$$

Следовательно, общие затраты на 1 м<sup>2</sup> сборно-разборного временного здания составляют 27,6 тыс. руб.

## 2.2 Анализ рынка строительных вагончиков

### 2.2.1 Обзор производителей

Сегодня на рынке строительной сферы можно найти много различных предложений о продаже вагончиков, а также о сдаче их в аренду. Стоимость бытовки обычно зависит от того, новая она или нет, а если она БУ, то в каком она состоянии. Кроме того при определении цены учитывается планировка вагончика, конструкция и материалы, из которых он изготовлен, всевозможные дополнительные опции и т.д.

- Аренда

Аренду вагончика в основном выбирают владельцы загородных домов или строительные организации, которым необходимо комфортное жилье на небольшой срок. К примеру, при строительстве малого объекта, когда на выполнение всех работ требуется всего лишь пара месяцев, и, соответственно, на этот же срок и требуется обеспечить рабочих жильем.

- Покупка

Большинство организаций отдают предпочтение покупке строительных вагончиков. Это является целесообразным, когда бытовка требуется на длительный срок, к примеру, когда планируется достаточно продолжительное строительство какого-либо крупного объекта (более 6 месяцев) или когда бытовка будет использоваться на нескольких стройках в течение нескольких лет. Приобретение вагончика в собственность также позволяет обустроить

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

вагончик так, как требуется самой строительной организации, которая в таком случае не несет никакой ответственности перед арендодателем.

В зависимости от комплектации некоторые производители предоставляют бытовки варианта:

1. «Эконом» (минимальное качество материалов, бюджетные материалы утеплителей, минимальная отделка);
2. «Стандарт» (запас надежности силовых элементов, возможность перепланировки или пристройки);
3. «Люкс» (качественные конструкционные и облицовочные материалы).

В данной работе были проанализированы цены на приобретение (покупку) новых бытовок у следующих компаний-производителей в г. Челябинск:

1. ООО «Бытовка 74» [53];
2. ООО «Группа Альф» [54];
3. «Модуль 74» («Модуль Строй Челябинск») [55];
4. «Строй Экспорт» [56];
5. «Вагончик 74» (ИП Асачёв) [57];
6. «Планета дерева» [58];
7. «Бытовки РФ» [59];
8. ООО «Альфа плюс» [60];
9. ООО «Легион ГП» [61];
10. «Модульдом Урал» [62].

Ниже представлены технические характеристики и цены на типовые бытовки для каждого из десяти производителей.

#### 1. ООО «Бытовка 74»

Компания Бытовка 74 производит деревянные строительные вагончики. В таблицах 7-8 представлены технические характеристики предоставляемых вагончиков и их стоимостные показатели в зависимости от используемых материалов и размеров.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61



## Характеристики предлагаемых строительных вагончиков

Размеры, м	Цена (от), тыс. руб.	Описание
2,3х3,0	45,555	Вагончик «Эконом». Каркас – деревянный брус, обшит оцинкованным профлистом. Крыша односкатная. Входная дверь 860х2050, окна поворотно-откидные 800х800. Владоизоляция, утеплитель – пенополистирол. Изнутри стены и потолок обшиты ОСП-3. Электропроводка в кабельных каналах, вводной автомат 25А, двойные розетки, светильник под обычный патрон.
2,3х4,0	55,670	
2,3х5,0	65,352	
2,3х6,0	72,723	
2,3х4,5х2,5	79,981	Бытовка строительная. Металлический каркас, утепление по кругу, включая пол. Электропроводка. Тепловой тамбур.
2,3х6,0	93	Вагончик двухкомнатный. Ветро и влагозащита. Утепление по контуру, включая пол по жилым нормам. Электророзетки, светильники, автомат на 25 А. 2 комнаты + тепловой тамбур с внутренними межкомнатными дверями.

## 3. «Модуль 74» («Модуль Строй Челябинск»)

Пример базовой комплектации строительной бытовки:

- каркас металлический;
- материал внешней обшивки – профнастил оцинкованный;
- внутренняя отделка – пластик, вагонка, МДФ, OSB, СМЛ;
- окна – поворотные, ПВХ 800х800 мм;
- дверь наружная – металлическая;

						АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			63



- пол – доска 25мм, фанера;
- дверь – деревянная покрытая профнастилом;
- окно – деревянное размерами 800х800мм с двойным остеклением;
- крыша скатная – оцинкованный профнастил.

В таблице 11 представлены стоимостные показатели предоставляемых вагончиков в зависимости от размеров.

Таблица 11

Стоимость в зависимости от размеров

Размеры, м	Цена, тыс. руб.
3,0х2,35х2,5	45
4,0х2,35х2,5	60
5,0х2,35х2,5	70
6,0х2,35х2,5	78
7,0х2,35х2,5	91
8,0х2,35х2,5	112
9,0х2,35х2,5	125
6,0х4,7х2,5	170

5. Вагончик 74 (ИП Асачёв)

В таблицах 12-13 представлены стоимостные показатели предоставляемых вагончиков в зависимости от размеров и материалов изготовления для вариантов «Эконом» и «Стандарт».

Таблица 12

Вариант «Эконом»

Размеры, м	Цена, тыс. руб.	Характеристики
3,0х2,0	50	Каркас – металлический; утеплитель – пенопласт 100 мм; стены внутри – OSB; внешняя отделка – профлисты.
4,0х2,4	70	
5,0х2,4	80	
6,0х2,4	90	

3,0x2,0	53	Каркас – металлический; утеплитель – мин.вата 100 мм; стены внутри – OSB; внешняя отделка – профлисты.
4,0x2,4	73,5	
5,0x2,4	83	
6,0x2,4	93	

Таблица 13

Вариант «Стандарт»

Размеры	Цена, тыс. руб.	Характеристики
3,0x2,0	53	Каркас – металлический; утеплитель – пенопласт 100 мм; стены внутри – OSB; внешняя отделка – профлисты.
4,0x2,4	74	
5,0x2,4	85	
6,0x2,4	96	
3,0x2,0	60	Каркас – металлический; утеплитель – пенопласт 100 мм; стены внутри – ПВХ панели; внешняя отделка – профлисты.
4,0x2,4	85	
5,0x2,4	95	
3,0x2,0	66	Каркас – металлический; утеплитель – мин. вата 100 мм; стены внутри – ЛДСП; внешняя отделка – профлисты.
4,0x2,4	94,5	
5,0x2,4	109,5	
6,0x2,4	124	

6. «Планета дерева»

В таблице 14 представлены основные стоимостные показатели.

Таблица 14

Характеристики вагончиков

Размеры, м	Площадь, м <sup>2</sup>	Цена, тыс. руб.	Описание
2,4x3,0	7,0	60	Металлическая бытовка с фундаментом (каркасная основа из швеллеров, стены утепленные)
2,4x4,0	10,0	70	
2,4x5,0	12,0	80	
2,4x6,0	14,4	90	

7. «Бытовки РФ»

В таблице 15 представлены стоимостные показатели предоставляемых вагончиков в зависимости от размеров и материалов изготовления.

Таблица 15

Характеристики металлических бытовок-вагончиков

Размеры	Цена, тыс. руб.			Описание		
	Э	С	Л	Эконом	Стандарт	Люкс
6,0x2,4x2,45 (отделка – ПВХ)	142,0	152,0	177,0	Кровля – профнастил 0,35мм;	Кровля – профнастил 0,35мм;	Кровля – профнастил 0,35мм;
6,0x2,4x2,45 (отделка – вагонка)	148,0	158,0	183,0	наружная обшивка – профнастил	наружная обшивка – профнастил	наружная обшивка – профнастил
6,0x2,4x2,45 (отделка – ДВП)	119,0	129,0	154,0	С8 0,35мм; утеплитель – мин. вата	С8 0,5мм; утеплитель – базальт.	С8 0,6мм; утеплитель – базальт. 40
9,0x2,4x2,45 (отделка – ЛДСП)	213,4	223,4	248,4	18 кг/м <sup>3</sup> 50мм; стены, потолок - ДВП/ОСБ/ ОСБ/Вагонка/ЛДСП; пол – доска; окна – дерево; дверь – с обшивкой профлистом	35 кг/м <sup>3</sup> 50мм; стены, потолок - ДВП/ОСБ/ ОСБ/Вагонка/ЛДСП; пол – доска + линолеум; окна – ПВХ 600x600; дверь – металлич.	кг/м <sup>3</sup> 50мм; стены, потолок - ДВП/ОСБ/ ОСБ/Вагонка /ЛДСП; пол – доска + линолеум + OSB; окна – ПВХ 800x800; дверь – металлич.

## 8. ООО «Альфа Плюс»

В таблице 16 представлены стоимостные показатели и технические характеристики предоставляемых вагончиков.

Таблица 16

### Характеристики предлагаемых вагончиков

Размеры, м	Площадь, м <sup>2</sup>	Цена, тыс. руб.	Описание
3,0x2,4	7,2	105,0	Металлич. каркас; пол – доска 25мм+фанера 6мм+линолеум; утеплитель пола и потолка – мин. вата 50мм; утеплитель стен – пенопласт 50мм; наружная обшивка – профнастил С8 0.6мм; дверь – металлическая; окно – ПВХ 800x800.
4,0x2,4	9,6	110,0	
6,0x2,4	14,4	130,0	
6,0x3,0	18,0	180,0	
8,0x2,4	19,2	185,0	
9,0x2,4	21,6	210,5	
12,0x2,4	28,8	287,0	

## 9. ООО «Легион ГП»

В таблице 17 представлены стоимостные показатели и технические характеристики предоставляемых вагончиков.

Таблица 17

### Характеристики предлагаемых вагончиков

Комплектация	Эконом	Стандарт	Макси
Площадь	14.4 м <sup>2</sup>	14.4 м <sup>2</sup>	14.4 м <sup>2</sup>
Размеры	ширина 2,4 м, длина 6,0 м, высота 2,75 м	ширина 2,4 м, длина 6,0 м, высота 2,75 м	ширина 2,4 м, длина 6,0 м, высота 2,75 м
Несущий каркас	Брус 100x70	Уголок 63x63x4, полоса 40x4	Швеллер 100x50x4, Уголок 63x63x4, полоса 40x4
Материал перекрытий	Пиломатериалы 50x70, 25x100	Пиломатериалы 50x70, 25x100	Пиломатериалы 50x70, 25x100





	фанера 8мм	фанера 8мм	(дно) Доска 25 мм + фанера 8мм
Окна	ПВХ поворотное 700х700 – 1шт двойное остекление	ПВХ поворот- откид 800х800 – 1шт двойное остекление	ПВХ поворот-откид 800х800 – 1шт двойное остекление
Дверь	ДВП, обшитая оцинкованным листом	ДВП, обшитая оцинкованным листом	Сварная металлическая. Утепленная с замком и задвижкой

Для дальнейшего анализа будем рассматривать покупку типового металлического строительного вагончика размерами, близкими к стандартным (6,0х2,5х2,5м), с утеплителем в виде минеральной ваты, наружной обшивкой в виде профлиста, внутренней – в виде древесных панелей и плит. В таблице 20 приведено сравнение цен на строительные вагончики среди рассмотренных компаний-производителей.

Таблица 20

Сравнение цен на стандартный вагончик среди рассмотренных производителей

Производитель	Цена, тыс. руб.
ООО «Бытовка 74»	-
ООО «Группа Альф»	80
«Модуль 74» («Модуль Строй Челябинск»)	90
«Строй Экспорт»	78
«Вагончик 74» (ИП Асачёв)	93
«Планета дерева»	90

«Бытовки РФ»	119
ООО «Альфа плюс»	130
ООО «Легион ГП»	120
«Модульдом Урал»	75

Для расчета примем среднюю стоимость одного стандартного вагончика – 96 тыс. руб.

### 2.2.2 Подсчет затрат на приобретение и эксплуатацию

#### 1) Покупка вагончика

В ходе анализа цен на приобретение вагончиков у 10 основных производителей в Челябинске была установлена средняя цена на вагончик размерами, близкими к стандартным (6,0х2,4х2,5м), с утеплителем в виде минеральной ваты, наружной обшивкой в виде профлиста, внутренней – в виде древесных панелей и плит.

Затраты на покупку вагончика составляют:  $S_{\text{пок.}} = 96$  тыс. руб.

#### 2) Транспортировка вагончика

Чтобы транспортировать строительный вагончик с одного объекта на другой необходимо иметь в наличии (или арендовать) специальный автотранспорт, габариты которого позволяют перевозить груз такого типа.

Вагончик размерами 6,0х2,5х2,5м является габаритным грузом. Вес стандартного вагончика достигает 2,5 т. Перевозка осуществляется с помощью манипулятора-самопогрузчика.

Рассмотрим компании, предоставляющие услуги транспортировки строительных вагончиков манипуляторами самопогрузчиками по г. Челябинску.

Для примера были отобраны 5 компаний:

1. ООО «Мемтранс» [63];
2. «Манипулятор 74» [64];
3. ООО «АвтоСпецТехника» [65];
4. «УралМ» [66];

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

5. «Самопогрузчик174» [67].

Ниже в табличном виде представлены почасовые расценки на аренду автотранспорта для каждой из этих компаний.

1. ООО «Мемтранс»

В таблице 21 представлены ценовые категории на аренду автотранспорта в зависимости от его типа и габаритов.

Таблица 21

Расценки на аренду транспорта

Техника, грузоподъемность	нал. расчет руб/час	с НДС, руб/час	мин. заказ, час
Манипулятор 5т, стрела 3т	1000	1100	2
Манипулятор 6т, стрела 5т	1400	1500	3
Манипулятор 10т, стрела 3т	1300	1400	3
Манипулятор 15т, стрела 3-5т	1600	1800	3
Манипулятор 20т, стрела 10т	1800	2000	3

2. «Манипулятор 74»

В таблице 22 представлены ценовые категории на аренду автотранспорта в зависимости от его типа и габаритов.

Таблица 22

Расценки на аренду транспорта

Модель манипулятора	Борт, т	Стрела, т	Габариты борта, м	Цена, руб/час
Nissan Diesel	3	3 (9 м)	4,2x2,2	900
Nissan UD	5	3 (9 м)	5,5x2,3	950
Hino Japan	8	6 (19 м)	7,3x2,4	1400
Daewoo Novus	12	7,4 (21 м)	7,3x2,4	1500

### 3. ООО «АвтоСпецТехника»

В таблице 23 представлены ценовые категории на аренду автотранспорта в зависимости от его типа, габаритов и грузоподъемности.

Таблица 23

#### Расценки на аренду транспорта

Вид транспорта	нал. расчет руб/час	с НДС, руб/час	мин. заказ, час
Самопогрузчик 3-5т	1000	1200	3
Самопогрузчик 12-15т	1600	1700	3
Самопогрузчик 20т	1800	2000	4

### 4. «УралМ»

В таблице 24 представлены ценовые категории на аренду автотранспорта в зависимости от его типа и габаритов.

Таблица 24

#### Расценки на аренду транспорта

Вид транспорта	Цена, руб/час	Мин. заказ, час
Самопогрузчик Nissan 5 т, стрела 3 т	1050	2
Самопогрузчик Hino 10 т, стрела 5 т	1400	2
Самопогрузчик 20 т, стрела 8 т	1600	8

### 5. «Самопогрузчик174»

Рассмотрим почасовую стоимость аренды транспорта для перевозки одного вагончика-бытовки.

В таблице 25 представлены ценовые категории на аренду автотранспорта в зависимости от его грузоподъемности и габаритов.

## Расценки на аренду транспорта

Борт, т	Стрела, т	Габариты борта, м	Цена, руб/час
3	3 (9 м)	5,5x2,2	900
5	3 (9 м)	5,5x2,3	1000
8	5 (10 м)	6,1x2,3	1300
10	7 (21 м)	7,3x2,36	1500

Для дальнейшего анализа будем рассматривать аренду самопогрузчика грузоподъемностью до 5 т. Сравнение цен на аренду транспорта среди рассмотренных производителей представлено в таблице 26.

Таблица 26

## Сравнение стоимости почасовой аренды транспорта среди рассмотренных производителей

Компания	Стоимость, руб/час
ООО «Мемтранс»	1000
«Манипулятор 74»	950
ООО «АвтоСпецТехника»	1000
«УралМ»	1050
«Самопогрузчик174»	1000

Следовательно, аренда самопогрузчика для транспортировки и установки габаритного вагончика, вес которого не превышает 3 т, будет в среднем достигать 1000 руб/ч. Минимальное время аренды транспорта – 2 часа.

Таким образом, затраты на транспортировку:  $S_{\text{транс.}} = 2$  тыс. руб.

## 3) Временное хранение вне стройплощадки

Не смотря на то, что вагончики должны находиться в использовании постоянно и непрерывно, то есть перемещаться с одной строительной площадки сразу непосредственно на другую, существует вероятность «простоя».



	500 кв.м., потолки 9 м.		
«База Трактороторг»	Склад с беспылевыми полами, потолки 8 м, отопление (+16С), площадь 630 кв.м.	200	2400

Для размещения на складе одного типового вагончика необходимо 15 кв.м. Сравнение цен на аренду необходимой площади склада приведено в таблице 28.

Таблица 28

Расценки организаций на аренду 15 кв.м складской площади в месяц

Организация	Стоимость, руб. 15 кв.м./мес
СК «Велес»	2700
СК «Каскад»	4500
«Челябтехоптторг»	2250
АН «Абискон»	1500
«База Трактороторг»	3000

Таким образом, затраты на размещение одного типового вагончика на временном складе составляют в среднем 2,8 тыс.руб/мес. Примем приблизительный срок хранения – 2 месяца.

$$S_{\text{хр.}} = 5,6 \text{ тыс. руб.}$$

#### 4) Установка вагончиков

Чтобы подготовить поверхность под установку бытовки, необходимо снять плодородный слой грунта, а затем засыпать подготовленную территорию гравием и песком.

##### а) Затраты на покупку песка и щебня

Подсыпка делается высотой 0,2 м по всему периметру вагончика. Площадь основания вагончика сторонами 6,0х2,5 м с запасом по 0,5 м с каждой стороны составляет  $6,5\text{м} \cdot 3,0\text{м} = 19,5\text{м}^2$ . Таким образом, необходимый объем подсыпки составляет  $0,20\text{м} \cdot 19,5\text{м}^2 = 3,9\text{м}^3 \approx 4\text{м}^3$  песка и гравия под один вагончик. Примем

соотношения песка и щебня 20% к 80% соответственно, т.е. объем материалов составляет 0,8 м<sup>3</sup> и 3,2 м<sup>3</sup> соответственно.

Плотность песка в среднем составляет 1500 кг/м<sup>3</sup>. Тогда вес 0,8м<sup>3</sup> песка – 1500 кг/м<sup>3</sup>·0,8м<sup>3</sup> = 1200 кг = 1,2 т.

Плотность щебня (фракция 40-100 мм) – 1650 кг/м<sup>3</sup>. Вес 3,2м<sup>3</sup> щебня – 1650 кг/м<sup>3</sup>·3,2м<sup>3</sup> = 5280 кг = 5,28 т.

Рассмотрим 5 производителей, предлагающих покупку строительного песка и щебня в г. Челябинск.

- ООО «Альфа» [73];
- ООО «ЛИР» [74];
- «АвтоДоставка» [75];
- «Гранитком» [76];
- «Апогей-Строй» [77].

Ниже в табличном виде представлены расценки на покупку щебня и песка для каждой из данных компаний. Цены указаны без учета доставки. Стоимость доставки материалов самосвалом, грузоподъемностью 5 т, в среднем – от 1800 руб.

#### 1. ООО «Альфа»

В таблице 29 представлены ценовые категории на покупку 1 т заполнителя.

Таблица 29

#### Расценки на покупку песка и щебня

Материал	Вес, т	Цена, руб.	Цена за 1 т, руб.
Песок строительный	1	289	289
Щебень, 5-20мм	1	500	500
Щебень, 20-40мм	1	340	340
Щебень, 40-70мм	1	309	309

#### 2. ООО «ЛИР»

В таблице 30 представлены ценовые категории на покупку 5 т заполнителя.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

## Расценки на покупку песка и щебня

Материал	Вес, т	Цена, руб.	Цена за 1 т, руб
Песок строительный	5	3500	700
Щебень, 5-20мм	5	5000	1000
Щебень, 20-40мм	5	4500	900
Щебень, 40-70мм	5	4500	900

## 3. «АвтоДоставка»

В таблице 31 представлены ценовые категории на покупку 5 т заполнителя.

Таблица 31

## Расценки на покупку песка и щебня

Материал	Вес, т	Цена, руб.	Цена за 1 т, руб
Песок строительный	5	3000	600
Щебень, 5-20мм	5	4700	940
Щебень, 20-40мм	5	3900	780
Щебень, 40-70мм	5	3900	780

## 4. «Гранитком»

В таблице 32 представлены ценовые категории на покупку 5 т заполнителя.

Таблица 32

## Расценки на покупку песка и щебня

Материал	Вес, т	Цена, руб.	Цена за 1 т, руб
Песок строительный	5	5000	1000
Щебень, 5-20мм	5	5500	1100
Щебень, 20-40мм	5	5000	1000

## 5. «Апогей-Строй»

В таблице 33 представлены ценовые категории на покупку 1 т крупного и мелкого заполнителя.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

## Расценки на покупку песка и щебня

Материал	Вес, т	Цена, руб.	Цена за 1 т, руб
Песок строительный	1	270	270
Щебень, 5-20мм	1	440	440
Щебень, 20-40мм	1	310	310
Щебень, 40-70мм	1	300	300

Рассчитаем стоимость песка и щебня для подсыпки под строительный вагончик. Сравнение ценовых категорий на заполнитель среди рассмотренных производителей приведено в таблице 34.

## Стоимость необходимого объема материалов

Производитель	Стоимость 1 т песка, руб.	Стоимость 1,2 т песка, руб.	Стоимость 1 т щебня, руб.	Стоимость 5,28 т щебня, руб.
ООО «Альфа»	289	347	309	1632
ООО «Лир»	700	840	900	4752
«АвтоДотавка»	600	720	780	4119
«Гранитком»	1000	1200	1000	5280
«Апогей-строй»	270	324	300	1584

Таким образом, для подсыпки под один вагончик средняя стоимость песка составляет 690 руб, щебня – 3480 руб.

Минимальная стоимость доставки материалов по городу – 1800 руб.

Расходы на покупку песка и щебня:  $S_{\text{подс.}} = 6$  тыс. руб.

б) Оплата труда рабочих, занимающихся подготовкой площадки

Для подготовки площадки под 1 строительный вагончик необходимо задействовать бульдозер (1 машиниста) и 1 рабочего.

Согласно [78] (на 1000 кв.м. подстилающего слоя толщиной 20 см):

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80



Итого:  $S = 110$  тыс. руб.

В среднем на строительной площадке, где происходит строительство объекта средней величины (например, десятиэтажного дома), используются 6-8 типовых строительных вагончиков. Таким образом, на полноценное обеспечение площадки временными зданиями потребуется около 660-880 тыс. руб. Примерный срок службы строительных вагончиков – 10 лет.

Пересчитаем затраты на  $1 \text{ м}^2$  площади:

$$S_{\text{ваг}} = 7,33 \text{ тыс. руб.}$$

Округляя, получаем:  $S_{\text{ваг}} = 7,5$  тыс. руб.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		82

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никоноров С.В. Организация строительного производства: учебное пособие / С.В. Никоноров. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2007. – 38 с.
2. Стандартные типы бытовок. – <https://gde-bytovki.ru/>
3. Преимущества и недостатки конструкций строительных бытовок. – <https://handmade-garden.ru/stroitelstvo/1102-preimushchestva-i-nedostatki-raznykh-konstruktsij-stroitelnykh-bytovok>
4. Uppala, S. A review on 3D printing of concrete – the future of sustainable construction / S. Uppala, M. Rao Tadikamalla // Journal on Civil Engineering. – 2017. – V. 7, № 3. – P. 49-62.
5. Patent № 4575330, US. Charles W. Hull / Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. – 1986.
6. Слесарев А. Д. Технология 3D печати / А. Д. Слесарев // Современная техника и технологии: электронный научно-практический журнал. – 2015. – № 6. – <http://technology.snauka.ru/2015/06/6596>
7. Шустов, М. Применение 3D-технологий в ортопедической стоматологии / М. Шустов, В. Шустова – Санкт-Петербург: Изд-во СпецЛит, 2016. – 161 с.
8. Patent № 4752352, US. Michael Feygin / Apparatus and method for forming an integral object from laminations. – 1988.
9. Author. Focus on 3D printing / Author // Popular plastics & Packaging. – 2017. – P. 58-62.
10. Patent № 5121329, US. Scott Crump / Apparatus and method for creating three-dimensional objects. – 1992.
11. Pegna, J. Exploratory investigation of solid freeform construction / J. Pegna // Automation in Construction. – 1997. – V. 5, № 5. – P. 427-437.
12. Khoshnevis, B. Innovative rapid prototyping process makes large sized, smooth surfaced complex shapes in a wide variety of materials / B. Khoshnevis, R. Dutton // Materials Technology. – 1998. – V. 13, № 2. – P. 53-56.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		142

13. Reza Khorramshahi M. Automatic Construction by Contour Crafting Technology / M. Reza Khorramshahi, A. Mokhtari // Emerging Science Journal. – 2017. – V. 1, № 1. – P. 28-33.

14. Patent № 7814937 B2, US. Behrokh Khoshnevis / Deployable contour crafting. – 2006.

15. Khoshnevis, B. Automated construction by contour crafting-related robotics and information technologies / B. Khoshnevis // Automation in Construction. – 2004. – V. 13, № 1. – P. 5-19.

16. Ватин, Н. И. 3D-печать в строительстве / Н. И. Ватин, Л. И. Чумадова, И. С. Гончаров, В. В. Зыкова, А. Н. Карпеня, А. А. Ким, Е. А. Финашенков // Construction of Unique Buildings & Structures. – 2017. – V. 52, № 1. – P. 27-46.

17. Patent № 2008/0148683A1, US. Enrico Dini / Method and device for building automatically conglomerate structures. – 2008.

18. Buswell, R. A. Design, data and process issues for mega-scale rapid manufacturing machines used for construction / R. A. Buswell, A. Thorpe, R. C. Soar, A. G. F. Gibb // Automation in Construction. – 2008. – V. 17, № 8. – P. 923–929.

19. Buswell, R.A. Freeform Construction: Mega-Scale Rapid Manufacturing for Construction / R.A. Buswell // Automation in Construction. – 2007. – V. 16, № 2. – P. 224-231.

20. Rebolj, D. Can we grow buildings? Concepts and requirements for automated nano- to meter-scale building / D. Rebolj, M. Fischer, D. Endy, T. Moore, A. Šorgo // Information mining and retrieval in design, Advanced Engineering Informatics. – 2011. – V. 25, № 2. – P. 390-398.

21. Le, T. T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete / T. T. Le, S. A. Austin, S. Lim, R. A. Buswell, A. G. Gibb, T. Thorpe // Materials and Structures. – 2012. – V. 45, № 8. – P. 1221-1232.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		143

22. Le, T. T. Hardened properties of high-performance printing concrete / T. T. Le, S. A. Austin, S. Lim, R. A. Buswell, A. G. Gibb, T. Thorpe // Cement and Concrete Research. – 2012. – V. 42, № 3. – P. 558-566.

23. Rayneau-Kirkhope, D. Hierarchical space frames for high mechanical efficiency: Fabrication and mechanical testing / D. Rayneau-Kirkhope, Y. Mao, R. Farr, J. Segal // Mechanics Research Communications. – 2012. – V. 46. – P. 41-46.

24. 3D Printed House 1.0 / Официальный сайт компании «Emerging objects». – <http://www.emergingobjects.com/project/3d-printed-house-1-0/>

25. Информационная страница проекта «Canal house». – <http://3dprintcanalhouse.com/facebookfaces>

26. Charron, K. WinSun China builds world's first 3D printed villa and tallest 3D printed apartment building / K. Charron // 3Ders.org. – 2015. – <https://www.3ders.org/articles/20150118-winsun-builds-world-first-3d-printed-villa-and-tallest-3d-printed-building-in-china.html>

27. Perrot, A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques / A. Perrot, D. Rangeard, A. Pierre // Materials and Structures. – 2006. – V. 49, № 4. – P. 1213-1220.

28. СПЕЦАВИА – первый серийный производитель 3D принтеров для строительства домов / Официальный сайт компании «СПЕЦАВИА». – <https://specavia.pro/about/>

29. Патент № 2636980С1, RU. Маслов А.В. / Мобильный строительный 3d-принтер. – 2016.

30. Gosselin, C. Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders / C. Gosselin, R. Duballet, P. Roux, N. Gaudillière, J. Dirrenberger, P. Morel // Materials & Design. – 2006. – V. 100. – P. 102-109.

31. Иноземцев А.С. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев, Зыонг Тхань Куй // Вестник МГСУ. – 2018. – т. 13, № 7. – с. 863-876.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		144

32. В России напечатали первый жилой дом / Официальный сайт компании «Apis Cor». – <http://apis-cor.com/about/news/first-house>

33. Вишняков М. Топ-5 интереснейших моделей строительных 3D-принтеров / М. Вишняков // Новостной блог компании по продаже 3D-принтеров. – 2018. – <https://www.trikvetra.ru/blog/tehnologii/ofisnaya-tehnika/top-5-interesneyshikh-modeley-stroitelnykh-3d-printerov/>

34. Бойко А. Топ-6 строительных принтеров для 3D-печати домов / А. Бойко // Новостной тематический сайт "RoboTrends". – 2017. – <http://robotrends.ru/pub/1718/top-6-stroitelnyh-printerov-dlya-3d-pechati-domov>

35. Самый большой строительный принтер в мире на «ИННОПРОМ-2018» в Екатеринбурге / Официальный сайт компании «СПЕЦАВИА». – 2018. – <https://specavia.pro/articles/samyj-bolshoj-stroitelnyj-printer-v-mire-na-innoprom-2018-v-ekaterinburge/>

36. Кузнецова Н. Российский 3D-принтер напечатает большой дом / Н. Кузнецова // Инвест-Форсайт: электронный деловой журнал. – 2018. – <https://www.if24.ru/3d-printer-napechataet-dom/>

37. Технология 3D-печати из бетона компании «Sika» получила награду международного конкурса / Официальный сайт компании «Sika». – 2018. – <https://rus.sika.com/ru/group/News/tekhnologiya-3d-pechati-iz-betona-kompanii-sika-poluchila-nagradu-mezhdunarodnogo-konkursa.html>

38. Официальный сайт компании. – <http://www.dedibot.com/en/index>

39. Барышников, А. А. Новейшие Технологии В Строительстве. 3d Принтер / Барышников А. А., Мустафин Н. Ш. // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. – 2016. – № 8. – <https://regrazvitie.ru/novejshietehnologii-v-stroitelstve-3d-printer/>

40. Shatornaya, A. M. Efficiency of 3D printers in Civil Engineering / A. M. Shatornaya, M. M. Chislova, M. A. Drozdetskaya, I. S. Puhina // Construction of Unique Buildings & Structures. – 2017. – V. 60, № 9. – P. 22-30.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		145

41. Weinstein, D. Determining the Applicability of 3D Concrete Construction (Contour Crafting) of Low Income Houses in Select Countries / D. Weinstein, P. Nawara // Cornell Real Estate Review. – 2015. – V. 13. – P. 94-111.

42. Lediga, R. Optimizing Concrete Mix Design for Application in 3D Printing / R. Lediga, D. Kruger // Solid State Phenomena. – 2017. – V. 263. – P. 24-29.

43. Yi Wei T. Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing / T. Yi Wei, B. Panda, S. C. Paul, J. T. Ming, Q. Shunzhi, F. L. Kah, K. C. Chee // Materials Science Forum. – 2016. – V. 861. – P. 177-181.

44. Официальный сайт компании ООО «РОСМОДУЛЬ». – <http://www.ros-modul.ru/>

45. Официальный сайт компании «Boxton». – <https://boxton.su/>

46. Официальный сайт компании ООО «Вахта». – <http://vakhta.com/>

47. Официальный сайт компании АО «Компания инноваций и технологий». – <https://www.kiit.ru/>

48. Устройство фундамента для модульных зданий.– <http://skmodstroy.ru/uslugi/fundament/>

49. Официальный сайт компании ООО ПСК «Атлант». – <http://dom-atlant.com/>

50. Официальный сайт компании ООО «Лесмастер». – <https://lesmaster.blizko.ru/>

51. Официальный сайт компании ООО «ЛесПромТорг». – <http://elkipalki74.ru/>

52. ГЭСН 21-01-021. Временные сборно-разборные здания и сооружения. – Москва, 2014. – 48 с.

53. Официальный сайт компании ООО «Бытовка 74». – <http://xn---74-5cdeg0d4a9a8f.xn--plai/>

54. Официальный сайт компании ООО «Группа Альф». – <http://www.xn---7sbbj7buag1aq1g.xn--plai/>

55. Официальный сайт компании «Модуль 74». – <https://xn--74-jlc2adm0bze.xn--plai/>

56. Официальный сайт компании «Строй Экспорт». – <http://2481118.ru/>

57. Официальный сайт компании «Вагончик 74». – <https://vagonchik74.ru/>

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		146

58. Официальный сайт компании «Планета дерева». – <https://planetadereva74.ru/>
59. Официальный сайт компании «Бытовки РФ». – <https://www.bytovki-rf.ru/>
60. Официальный сайт компании ООО «Альфа плюс». – <http://www.alfaprofil-ural.ru/catalog/k-6630054-bytovki>
61. Официальный сайт компании ООО «Легион ГП». – <http://www.legion-ural.ru/>
62. Официальный сайт компании «Модульдом Урал». – <http://www.moduldom-ural.ru/>
63. Официальный сайт компании ООО «Мемтранс». – <http://mem-trans.com/samopogruzchik>
64. Официальный сайт компании «Манипулятор 74». – <http://manipulator74.ru/2-uncategorised/1-o-kompanii-manipulyator-74-chelyabinsk>
65. Официальный сайт компании ООО «АвтоСпецТехника». – <http://ast74.ru/>
66. Официальный сайт компании «УралМ». – <http://www.uralm.org/technika/77-samoporguzchik>
67. Официальный сайт компании «Самопогрузчик174». – <http://samopogruzchik174.ru/>
68. Официальный сайт компании «Велес». – <https://sklad74.pulscen.ru/>
69. Официальный сайт компании «Каскад». – <http://www.rss-kaskad.ru/terminal/chelyabinsk/>
70. Официальный сайт компании «Челябтехопторг». – <https://chelyabinsk.cian.ru/rent/commercial/200468555/>
71. Официальный сайт компании «Абискон». – <https://chelyabinsk.cian.ru/rent/commercial/196827581/>
72. Официальный сайт компании «База Трактороторг». – <http://bazatt.ru/tovari/arenda-skladov/>
73. Официальный сайт компании ООО «Альфа». – <https://shcheben74.blizko.ru/>
74. Официальный сайт компании ООО «ЛИР». – <https://pesok174.ru/>
75. Официальный сайт компании «АвтоДоставка». – <http://xn--174-9cdtb0d2e5a.xn--p1ai/>
76. Официальный сайт компании «Гранитом». – <http://granitkom.ru/>

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		147

77. Официальный сайт компании «Апогей-Строй». – <http://apogey74.ru/>
78. ГЭСН 27-04-003. Устройство оснований и покрытий из песчано-гравийных смесей или щебеночно-песчаных смесей. – Москва, 2014. – 121 с.
79. Liiv Jüri. Novel ecosustainable peat and oil shale ash-based 3D-printable composite material / Jüri Liiv, Tõnis Teppand, Ergo Rikmann, Toomas Tenno // Sustainable Materials and Technologies. – 2018. – V.17. – P. 24-29.
80. Официальный сайт компании «ГЕОБЕТОН». – <http://geobeton.ru/>
81. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99\*. – Москва, 2012. – 109 с.
82. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Москва, 2012. – 96 с.
83. Официальный сайт разработчика Ömer Naciömeroğlu. – <http://omerh.co/>
84. Официальный сайт компании «СпецАВИА». – <https://specavia.pro/catalog/stroitelnye-3d-printery/dlya-pechaty-odnoetazhnyh-zdaniy/>
85. Официальный сайт компании «Apis Cor». – <https://www.apis-cor.com/>
86. Официальный сайт компании «BetAbram». – <https://www.betabram.com/index.html>
87. Официальный сайт компании «COBOD». – <https://cobod.com/>
88. Официальный сайт компании «Constructions-3D». – <https://www.constructions-3d.com/copie-de-fiche-produit>
89. Официальный сайт компании «ICON». – <https://www.iconbuild.com/>
90. Официальный сайт компании «Rudenko 3D Concrete Printers». – <http://www.totalkustom.com/3d-concrete-printers.html>
91. Официальный сайт компании «WASP». – <https://www.3dwasp.com/en/>
92. ГЭСНм 24-01-005-04. Оборудование предприятий промышленности строительных материалов. – Москва, 2008. – 57 с.
93. ГЭСН 10-01-034-03. Деревянные конструкции. – Москва, 2008. – 90 с.
94. ГЭСН 09-04-012-01. Металлические конструкции. – Москва, 2014. – 99 с.
95. ГЭСН 06-01-030-10. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. – Москва, 2014. – 97 с.

					АС-278-08.04.01-2019-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		148