

**VIII Всероссийская (с международным участием) научная конференция учащихся
имени Н.И. Лобачевского**

Секция «Инженерно-техническая»

Применение местного сырья для изготовления блоков строительным 3D принтером

**Новгородов Владислав,
10 класс**

**Направляющая организация:
МБОУ «Намская улусная гимназия», с.Намцы**

**Научный руководитель:
Новгородов Александр Валерьевич, директор**

Казань, 2023

Содержание

Введение.....	с.3
Глава 1. Применение 3D технологий в строительстве	
1.1.История возникновения 3D-принтера.....	с.4
1.2. Разновидности строительного 3Д принтера.....	с.5
1.3. Смеси для строительного 3Д принтера.....	с.7
Глава 2. Изучение состава смеси и подходящего сырья на территории Намского улуса	
2.1. Создание и проверка тестовых экземпляров.....	с.10
2.2. Сравнение затрат на строительство индивидуального жилого дома из различных материалов.....	с.12
Заключение.....	с.15
Использованная литература	с.16

Введение

Современные инновационные 3D-технологии развиваются достаточно быстро и все больше внедряются в различные сферы деятельности человека. В последнее время значительное внимание уделяется такой разновидности 3D-технологий, как печать объектов на 3D-принтере, в которой используется метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели. 3D-принтеры применяются во многих отраслях промышленности: медицине, машиностроении, литейном производстве, радиотехнике и электронике. Их основными преимуществами являются создание объектов с высокой точностью и скоростью без использования ручного труда, а также возможность создания предметов и конструкций по 3D-модели.

Строительная область не стала исключением в отношении применения 3D-печати. В настоящее время существуют технологии и устройства для печати, как малых архитектурных форм, так и зданий в целом. Технология широко используется в центральной части России, Китае, США, Африки, Индии, Германии и в других европейских странах. С помощью этой технологии появилась возможность не только создания различных архитектурных конструкций, но и возведения целых зданий и сооружений. 3D-печать относится к аддитивному производству, иными словами, технология подразумевает создание объектов путем нанесения последовательных слоев материала. Модели, изготовленные таким образом, могут применяться на любом производственном этапе – как для изготовления опытных образцов (быстрое прототипирование), так и в качестве готовых изделий (быстрое производство). [6]

В качестве основного материала используется бетон. Требования к составу бетонной смеси достаточно высокие, так как конструкция стены должна соответствовать условиям прочности и жесткости.

Гипотеза: Возможно ли использовать местные ресурсы при изготовлении смеси для строительного 3D принтера?

Цель: изучение местного сырья для изготовления смеси в строительном 3D принтере.

Задачи:

- изучить историю возникновения и разновидности 3D принтера;
- исследовать состав смеси и подходящего сырья на территории Намского улуса;
- создать и проверить тестовые экземпляры;
- сравнить затраты на строительство индивидуального жилого дома из бруса и блоков.

Объект исследования: бетонная смесь.

Предмет исследования: исследование компонентов.

Методы исследования: наблюдение, сравнение, эксперимент, анализ.

Глава 1. Применение 3D технологий в строительстве.

1.1. История возникновения 3D-принтера

К середине 90-х годов прошлого столетия в мировой экономике сложилась интересная ситуация: фирмы-конкуренты стали не просто бороться за потребителей продукции, но буквально выполнять любые их пожелания. Самое важное, что в итоге однообразную продукцию – например, часы и автомобили – прекратили приобретать миллионными партиями.

Объем продаж с заводов-производителей сократился до нескольких тысяч штук в одной партии. Это ознаменовало начало эпохи мелкосерийного производства. В конечном итоге компании обнаружили, что разработка форм, лекал и прототипов для все новых и новых моделей обходится весьма дорого.

Примерно тогда же становятся популярными устройства, способные быстро и с минимумом затрат изготавливать модели, — станки с ЧПУ, числовым программным управлением. Многие из них так и остались в секторе производства, но интенсивное развитие отдельной ветви «эволюции» привело к появлению офисных принтеров объемной печати – так началась история развития 3D-печати.

Самым первым устройством для создания 3D-прототипов была американская SLA-установка, разработанная и запатентованная Чарльзом Халлом в 1986 году и использующая стереолитографию. Само собой, это еще не был первый 3D-принтер в современном понимании, но именно она определила, как работает 3D-принтер: объекты наращиваются послойно.

Халл сразу же создал фирму 3D Systems, которая изготовила первое устройство объемной печати под названием Stereolithography Apparatus. Первой моделью этой машины, имевшей широкое распространение, стала разработанная в 1988 году SLA-250. Понятное дело, что и такой 3D-принтер цветным не был, а работал лишь с сырьем одного цвета, но для того времени и это было сродни чуду.

В 1990 году был использован новый способ получения объемных «печатных оттисков» — метод наплавления. Его разработали Скотт Крамп, основатель компании Stratasys, и его жена, продолжившие развитие 3D-печати.

Современный исторический этап развития 3D-печати стартовал в 1993 году с созданием компании Solidscapе. Она производила струйные принтеры, которые предшествовали трехмерным. В 1995 году двумя студентами Массачусетского технологического института был модифицирован струйный принтер. Он создавал изображения не на бумаге, а в специальной емкости, и они были объемными. Тогда же появилось понятие «3D-печать» и первый 3D-принтер. Этот метод был запатентован, и теперь используется в созданной теми же студентами компании Z Corporation, а также в ExOne. Z Corp. до сих пор производит 3D-принтеры, использующие эту технологию.

История создания 3D-принтера продолжилась появлением технологии под названием PolyJet, основанной на использовании фотополимерного жидкого пластика. При таком способе печати головка «рисует» слой фотополимера, который моментально засвечивается лампой. Метод оказался выигрышным по многим параметрам: цена его значительно ниже, а высокая точность дает возможность изготовления не просто моделей, но готовых к применению деталей.

С течением времени развитие индустрии 3D-печати ускорялось, появлялись новые фирмы производители 3D-принтеров, вносящие свой вклад в ее разработку, использовались новые материалы и принципы, размеры и цены устройств становились все меньше – первые 3D-принтеры были огромны, сейчас же они умещаются на столе (исключая разве что промышленный 3D-принтер).

Современный трехмерный принтер все больше становится похож на обычный, печатающий на бумаге, по внешнему виду и технологии нанесения «красящего» вещества. Печатаемые им модели отличаются еще и высокой прочностью, поэтому могут применяться в качестве готовых изделий.

Сейчас 3D-принтер может занимать очень мало места – конечно, это зависит от его назначения. В начале развития цена такого принтера была доступна разве что очень крупным компаниям, теперь же любой человек может приобрести 3D-принтер, цена которого в среднем \$1000. История 3D-принтера еще не окончена, и самое интересное – впереди. [7]

1.2.Разновидности строительного 3Д принтера.

Строительные 3D принтеры представляют собой инженерные устройства, создающие конструктивные элементы зданий, малые архитектурные формы или целые строения послойно — так же, как любой 3D-принтер печатает объекты из пластика или другого материала. От обычного 3D-принтера строительный отличается используемым материалом и размерами — рабочей поверхностью ему служит участок стройплощадки или цеха, а печатает он цементной смесью. Есть и конструктивные отличия, обусловленные спецификой материала — в частности, в строительном 3D-принтере нет необходимости в нагревающем элементе. Такие аппараты позволяют быстро и без лишних сложностей печатать объекты почти любых заданных форм, для обычного серийного строительства просто невозможных, с использованием стандартных смесей. На данный момент существуют 4 основных вида строительных принтеров.

Портальный строительный принтер.

Портальный 3D принтер установленный на участке для возведения дома. Наиболее перспективный вид строительного 3D принтера. Он напоминает козловой кран, но вместо

крюка на тросе у него ферма с печатающей головкой. Этот тип ещё называют XYZ-принтер, поскольку при печати он перемещается по трём взаимно перпендикулярным осям.



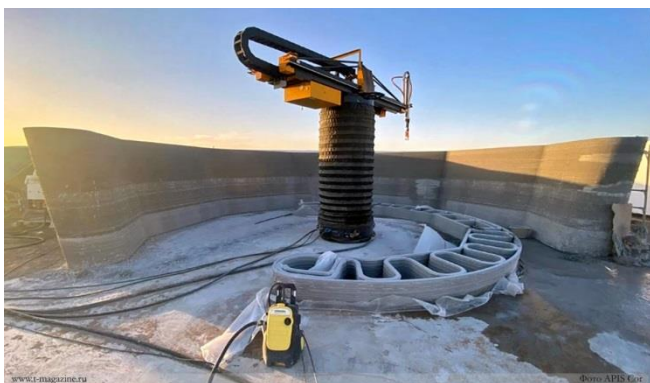
Трёхосевой (дельтовидный) принтер.

Трёхосевой строительный 3D принтер WASP Delta .Конструкция трёхосевых принтеров похожи на порталную. Основой конструкции также является металлическая ферма. Но она не перемещается на рельсах, а фиксирована. Также отличается крепление печатающей головки. Бункер с экструдером закреплены на рычагах, представляющих собой перевёрнутый штатив с телескопическими «ногами», которые закреплены на направляющих. Таким образом обеспечивается большая подвижность печатающего устройства, но ограничивается площадь печати.



Крановый принтер.

Строительный 3D принтер APIS кранового исполнения. Иногда печатающее устройство ставят не по периметру, а в середину объекта. Такие принтеры напоминают башенные строительные краны. Их обычно размещают внутри здания, поскольку рабочая зона такого оборудования ограничена вылетом стрелы. Однако они имеют небольшие габариты и вес, что позволяет легко транспортировать. К тому же подготовка такого оборудования к работе происходит достаточно быстро.



Принтеры-манипуляторы.

Используют роботизированную руку для перемещения печатающей головки. Они мобильны, имеют большую гибкость по сравнению с оборудованием кранового типа. Но из-за своей технологичности их цена гораздо выше аналогов. Строительный 3D принтер на базе мини крана паука. Стоит отметить, что разработчики не останавливаются на стандартных решениях. Кроме создания непосредственно 3D принтеров, существует оборудование для печати строительных конструкций, являющееся сменным оборудованием. Например, французская компания оснастила кран-паук бетононасосным оборудованием, которое подаёт раствор на закреплённую на конце стрелы печатающую головку. Таким образом, базовая машина может выполнять функции крана или возводить бетонные внутренние перегородки. [6]



1.3. Смеси для строительного 3D принтера.

В настоящее время бетон является одним из наиболее важных строительных материалов современности. Ежегодно по всему миру, предположительно, производится 8 миллиардов м³ бетона. Это означает, что примерно 1 м³ бетона производится на одного человека в год. Историю бетона как строительного материала относят к римскому периоду. Существует много способов получения высококачественных бетонных составов для строительной индустрии.

Немаловажную роль в технологии строительной 3D-печати играет состав рабочей смеси. Ее основой является быстротвердеющий бетон, который может включать в свой состав различные добавки для повышения тех или иных характеристик несущих элементов

конструкции (стен, перекрытий), а также может комбинироваться либо с различными видами фибр, либо со стальной арматурой.

Стандартный состав смеси для строительного 3Д принтера

Компонент	Расход на 1 м ³
Цемент	560 кг
Кварцитопесчаник	190 кг
Песок	1250 кг
Суперпластификатор ПМФ-НЛК	16,8 кг
Вода	170 кг
Базальтовая фибра	16,8 кг

Бетонная смесь представляет собой высокопрочный бетон класса В50, необходимый для создания «органической структуры стен», прочность которого достигает 650–700 кгс/см². В первые сутки конструкция на основе бетонной смеси обретает до 25 % проектной прочности, но такие высокие темпы набора прочности не оказывают негативного влияния на конечные свойства бетона. Схватывание смеси происходит в течение 3–120 мин, при этом достаточно хорошо сохраняется форма, что необходимо при 3D-печати. Для бетонной смеси характерны малая усадка (0,6 мм/м в возрасте 28 сут) и минимальное водоцементное отношение.



Быстротвердеющие составы, в основу которых входит бетонная смесь, предполагают: – применение жесткой бетонной смеси с низкими значениями водоцементного отношения; – использование добавок – ускорителей твердения (СаС12), глиноземистого цемента и др.; – сухое или мокрое домалывание цемента с добавкой гипса (2–5 % от массы цемента) или с применением комплексных специальных добавок; – активацию цементного раствора. Из добавок – ускорителей твердения наиболее распространен хлористый кальций, обеспечивающий лучшие результаты по сравнению с другими добавками. В бетонных конструкциях количество такой добавки не должно превышать 3 %.

Одной из добавок к бетонной смеси для печати на 3D-принтере также является фибра, которая представляет собой материал, применяемый в качестве армирующего компонента для улучшения свойств бетона. Она добавляется в сухие строительные смеси и растворы, выполняя роль микроармирующего компонента, модифицирующего (оптимизирующего) структуру вяжущих веществ строительных конгломератов на микроуровне, поэтому позволяет обойтись без армирования бетона стальной арматурой, так как в достаточной мере обеспечивает прочность и жесткость конструкции, вследствие чего уменьшаются ее вес, а также затраты на армирование. [1]

Вид фибры	Общие свойства	Преимущества
Стеклоанная	– Увеличивается прочность при сжатии (растяжении) и на изгиб;	– Повышает ударопрочность; – достигаются высокая плотность и равномерность армирования
Полипропиленовая	– повышается термическая устойчивость; – сокращаются сроки возведения сооружений; – снижается расход материалов;	– Повышает пластичность цементного раствора; – уменьшает удельный вес смеси; – повышает износостойкость бетонных конструкций; – повышаются водонепроницаемость и морозостойкость
Базальтовая	– увеличивается степень сопротивления трещинообразованию	– Обладает электроизоляционными свойствами; – не поддерживает горение; – экологичность
Стальная		– Снижает толщину бетонирования и массу без потери несущей способности; – повышает устойчивость к динамическим нагрузкам; – улучшает гидроизоляционные характеристики сооружений

Выводы:

- Строительные 3D принтеры представляют собой инженерные устройства, создающие конструктивные элементы зданий, малые архитектурные формы или целые строения;
- На данный момент существуют 4 основных вида строительных принтеров: порталный, трехосевой, крановый, принтер-манипулятор;
- Немаловажную роль в технологии строительной 3D-печати играет состав рабочей смеси. Ее основой является быстротвердеющий бетон, который может включать в свой состав различные добавки для повышения тех или иных характеристик несущих элементов конструкции.

Глава 2. Изучение состава смеси и подходящего сырья на территории Намского улуса.

2.1. Создание и проверка тестовых экземпляров.

Для принятия 3D-печати как новой технологии строительства, требуются стандарты для используемых материалов. Эти стандарты и их надлежащее применение при проектировании и строительстве должны обеспечивать достижение соответствующих уровней надежности. Поэтому наша цель заключалась в создании состава смеси с применением местных ресурсов. Было решено создать состав с использованием различных видов песка: речного, кварцитопесчаника и красного. Были приготовлены составы с различным цементно-песчаным соотношением.

Решили проверить какой песок выгоднее и практичнее использовать в смеси. Отобрали цемент марки М400, песок отобрали речной из местности Романовка, кварцевый песок из карьера Кильдямский и кварцевый песок из карьера местности Санников.



Речной



Горный



Красный

Для сравнения образцов поэтапно сделали следующее:

1 этап .

Создали форму из листового железа высота 20мм, ширина 20мм, длина 40мм, для каждой смеси по 5 форм.



2 этап .

Начали выводить оптимальную зернистость и просеивать каждый песок



3 этап. Создание смеси и распределение в формы

Сделали смеси в равных соотношениях цемента и песка и выложили в формы.



4 этап. Определение характеристик.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Требования ГОСТ 8736- 2014	Проба песка	
				Фактические показатели	Оценка на соответствие ГОСТ 8736- 2014
1	Зерновой состав, полные остатки на ситах с размерами отверстий в мм: - 5,0	%	не нормируется	0,5 1,7 7,2 28,8 71,4	-

	- 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,14			97,5	
2	Модуль крупности	-	Более 2,5	2,07	соотв. (песок относится к гр. «средний»)
4	Содержание пылевидных и глинистых частиц	%	не более 10,0	0,45	соотв.
5	Содержание глины в комках	%	не более 1,0	0.15	соотв.

Выводы: песок по крупности находится между мелким и средним
мелкий (1,5-2,0);
средний (2,0-2,5);

Далее изучали составы с разным соотношением цемента и песка.

Номер состава		1 состав	2 состав	3 состав
Соотношение	Цемент/песок	2/1	1/1	1/2

Для данных составов были измерены сроки схватывания. В составах в соотношении 2/1 и 1/1 наблюдается увеличение сроков схватывания.

Сроки схватывания, мин	1 состав	2 состав	3 состав
Начало	85	70	50
Конец	200	190	185

Цементно-песчаные составы с разным соотношением цемент/ песок характеризуются разной прочностью, что нам еще предстоит выяснить.

Далее наблюдали за растеканием цементного теста.

Этап 5 решили, проверить наши составы из разного песка (кварцитопесчанника, красного, речного) на технологию выкладывания смеси.

В ходе наблюдения пришли к выводу, что образец с кварцитопесчанником имеет меньшую растекаемость на поверхности, хорошо держит заданную форму.



Партия	№	дата		Размер образца	Предел прочности при сжатии кгс/см	
		Изготовления	Испытания		Одного образца	средний
1 «Красный» карьер Кильдямский	1	02.11.2022	30.11.2022	50x50x50	313.5	R=328.5
	2				278.0	
	3				345.2	
	4				380.5	
	5				356.2	
	6				311.4	
2 «Речной»	1	03.11.2022	01.12.2022	50x50x50	532.6	R=384.0
	2				285.0	
	3				356.5	
	4				500.8	
	5				443.0	
	6				379.0	
3 «Горный» карьер Санников	1	04.11.2022	02.12.2022	50x50x50	330.1	R=361.6
	2				194.8	
	3				320.6	
	4				377.6	
	5				282.6	
	6				418.0	



2.2. Сравнение затрат на строительство индивидуального жилого дома из различных материалов.

Строительство частного дома требует четкой планировки и постоянного контроля. В первую очередь, хозяину важно определиться с материалом. Конечно же, хочется, чтобы и дом был не самого худшего качества, и цена постройки при этом была доступной.

У нас в регионе особенно популярными материалами для строительства домов являются брус и шлакоблок. Объясняется это, в первую очередь, тем, что оба материала доступны и при этом обладают замечательными эксплуатационными характеристиками.

В качестве примера рассмотрим, какой дом дешевле построить – деревянный из бруса или из строительных блоков.

Расчет материалов индивидуального жилого дома из бруса(6*6*3).

Расчеты

Общий объем бруса	15.75	м3
Общая площадь стен	105	м2
Общий вес	7560	кг
Общая стоимость бруса	472500	руб
Кол-во венцов	23	рядов
Кол-во рулонного утеплителя на все венцы	700	метров

Расчет материалов индивидуального жилого дома из блоков(6*6*3).

Расчеты

Периметр строения	24	метров
Общая площадь кладки	72	м2
Толщина стены	190	мм.
Количество блоков	848	шт.
Общий вес блоков	16960.41	кг
Общий объем блоков	11.81	м3
Количество блоков в кубе	71.8	шт./м3
Общая стоимость блоков	76321.84	руб
Кол-во раствора на всю кладку	1.58	м3

Подводя итог, можно сказать о том, что строительство дома из дерева в среднем обойдется дороже дома, чем из блоков. Разница в итоговой стоимости может отличаться в зависимости от региона проживания. Но если использовать местное сырье и изготавливать блоки на строительном 3Д принтере, стоимость товара выйдет дешевле и сроки изготовления будут минимальны, к тому же можно создавать различные архитектурные формы блоков.

Выводы:

- Из испытаний трех образцов можно сделать вывод, что наиболее подходящим сырьем, в нашем случае является песок, образец изготовленный из кварцевого песка с карьера местности Санников;
- Оптимальным соотношением смеси является по нашим данным один к двум;
- Используя местное сырье и изготавливая блоки на строительном 3Д принтере, стоимость товара выйдет дешевле и сроки изготовления будут минимальны.

Заключение

Преимущества строительных блоков очевидны. С их помощью можно в сжатые сроки построить здание без использования специальной техники. Они обладают хорошей теплоизоляцией и необходимой прочностью. Поэтому средства, потраченные на утепление, будут существенно ниже, чем при строительстве из кирпича. А если сравнивать строительные блоки с деревянными срубами, то это не только меньше дополнительных средств и работ, но и более высокая долговечность постройки.

Из проведенных исследований сделали следующие выводы:

- Из испытаний трех образцов можно сделать вывод, что наиболее подходящим сырьем, в нашем случае является песок, образец изготовленный из кварцевого песка с карьера местности Санников;
- Оптимальным соотношением смеси является по нашим данным один к двум;
- Используя местное сырье и изготавливая блоки на строительном 3Д принтере, стоимость товара выйдет дешевле и сроки изготовления будут минимальны.

В заключении следует сказать, что:

1. В условиях региона есть возможность использовать строительный 3Д принтер малых габаритов, не для печати самих зданий, а изготовления строительных материалов блоков любой архитектурной формы;
2. На территории Намского улуса есть необходимые ресурсы для применения в строительстве 3Д принтера;
3. Участие наименьшего количества специалистов (до 3 человек), чем при изготовлении стандартных блоков (от 5 человек);
4. Для облегчения массы блока можно делать добавки в смесь вторичного сырья;
5. Сравнение экономических затрат на строительство индивидуального жилого дома стало очевидно, что дома из блоков имеют существенное преимущество перед домами из бруса, как в экономическом плане так и в практическом. Скорость изготовления блоков намного быстрее, чем стандартных;

3D-печать имеет широкий спектр применения в нашей жизни. 3D-печать способна если не решить, то помочь решить много глобальных проблем. Разработка проекта здания любой сложности и его возведение займет в разы меньше времени, также данная технология позволит в будущем возводить различные сооружения.

Для России технология возведения зданий с помощью 3D-принтера вполне актуальна. С помощью технологии 3D-печати за неделю можно соорудить целый поселок на Дальнем Востоке. У данной технологии, конечно, есть и минусы, среди которых большая стоимость

оборудования, но если немного рационализировать эту отрасль, за ней, несомненно, наше будущее.

Использованная литература:

1. Местников А.Е., Антипкина Т.С. Строительные материалы и технологии для Севера и Арктики : Монография. - М.: Издательство АСВ, 2021. - 218 с. с ил.
2. Местников А.Е., Кудяков А.И., Рожин В.Н. Портландцемент с природными активными добавками // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2019.-Т. 21.-№ 2.-С. 192-201
3. Попов А.Л. Фибробетон автоклавного твердения с использованием композиционного вяжущего на основе кварц- полевошпатового песка Якутии. Автореф. ... канд. техн. наук. БГТУ, 2019.-20 с
4. Туралысов К.Г. Градостроительство в экстремальных условиях Севера (на примере территории Якутии). - Якутск: Якутский край, 2011. - 112 с.
5. Производство строительных материалов из местного минерального сырья для арктических районов северо-востока России // Горный журнал. - 2016. - № 9. - С. 65-68.25.
6. <https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/369867/>
7. <https://top3dshop.ru/blog/3d-printing-of-buildings-technologies-and-3d-printers.html>