

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление

Әбдіхалықов Серікбол Талғатұлы

Разработка роботизированной системы для строительной индустрии

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

На тему: «Разработка роботизированной системы для строительной индустрии»

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил

Әбдіхалықов С.Т.

Рецензент

Доктор PhD, доцент

Иманбекова Ұ.Н. Иманбекова Ұ.Н.

« 1 » 06 2023 г.

Научный руководитель

д.т.н., ассоц. профессор

Байбатшаев М.Ш. Байбатшаев М.Ш.

« 29 » 05 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление

6B07103 – Автоматизация и роботизация



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Әбдіхалыков С.Т.

Тема: «Разработка роботизированной системы для строительной индустрии»

Утверждена приказом Б. Жаутикова № 408-П/Ө от «23» ноября 2022г.

Срок сдачи законченной работы « 2 » 06 2023 г.

Исходные данные дипломного проекта: технология 3D-печати в строительстве.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) анализ существующих роботизированных систем в строительстве;
- б) описание объекта исследования;
- в) разработка расчетной схемы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
компоновочная схема строительного 3D-принтера.

Рекомендуемая основная литература:

1 Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера // Известия КГАСУ. 2017. №4(42) С.350 – 359;

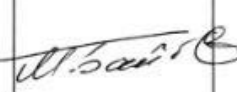
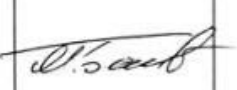
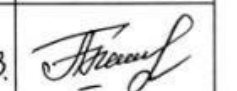
2 Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Тхань Куй. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 7 (118). С. 863 – 876.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

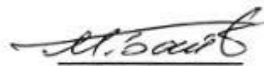
| Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления научному руководителю | Примечание |
|--|--|------------|
| Технологический раздел | 2.03.2023г. | |
| Специальный раздел | 6.04.2023г. | |

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломный проект с указанием
относящихся к ним разделов работы

| Наименования разделов | Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание) | Дата подписания | Подпись |
|---------------------------|---|--------------------|---|
| Технологический раздел | М.Ш. Байбатшаев д.т.н., ассоц. профессор | 22.05.2023 |  |
| Специальный раздел | М.Ш. Байбатшаев д.т.н., ассоц. профессор | 22.05.2023 |  |
| Нормоконтролер | А.Б. Жеңіс ассистент | 25.05.2023 |  |

Научный руководитель



Байбатшаев М.Ш.

Задание принял к исполнению обучающийся



Әбдіхалықов С.Т.

Дата

« 16 » 01 2023 г.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жоба 3D құрылыс принтерлері негізінде құрылыс индустриясы үшін роботтық жүйені әзірлеуге арналған. Жұмыста осындай принтерлерді шығаратын ең танымал компаниялар арасында, оның ішінде олардың ерекшеліктері мен артықшылықтарын ескере отырып, салыстырмалы талдау жүргізілді. Apis Cor компаниясын қарастыруға және оны дамытуға ерекше назар аударылады. Сондай-ақ, жұмыста техникалық есеп жүргізіліп, құрылыс 3D принтерінің дизайнының Simulink моделі жасалды. Мұндай жүйені әзірлеу үлкен практикалық қолданысқа ие және құрылыс процесін автоматтандыруға мүмкіндік береді, бұл оны тездетеді және еңбек шығындарын азайтады, сонымен қатар жергілікті материалдар мен жұмыс кезеңдерін пайдалану арқылы жобаның құнын төмендетеді.

АННОТАЦИЯ

Данный дипломный проект посвящен разработке роботизированной системы для строительной индустрии на основе строительных 3D принтеров. В работе проведен сравнительный анализ между наиболее известными компаниями-производителями таких принтеров, в том числе с учетом их особенностей и преимуществ. Особое внимание уделено рассмотрению компании Apis Cor и ее разработкам. Также в работе проведен технический расчет и создана Simulink-модель конструкции строительного 3D принтера. Разработка такой системы имеет большое практическое применение и позволит автоматизировать процесс строительства, что ускорит его и уменьшит трудозатраты, а также снизит стоимость проекта за счет использования местных материалов и этапов работы.

ANNOTATION

This diploma project is dedicated to the development of a robotic system for the construction industry based on construction 3D printers. The paper presents a comparative analysis between the most well-known manufacturers of such printers, including taking into account their features and advantages. Special attention is paid to the consideration of Apis Cor and its developments. Also in the work, a technical calculation was carried out and a Simulink model of the construction of a construction 3D printer was created. The development of such a system has great practical application and will automate the construction process, which will speed it up and reduce labor costs, as well as reduce the cost of the project by using local materials and stages of work.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 7 |
| 1 Технологии роботизации в строительной индустрии | 8 |
| 1.1 Основные принципы роботизации | 8 |
| 1.2 Примеры роботизированных систем в строительстве | 9 |
| 1.3 BIM-технологии в строительной индустрии | 12 |
| 1.4 Преимущества и недостатки роботизации в строительстве | 14 |
| 1.5 Общая характеристика 3D технологии | 15 |
| 2 Анализ существующих роботизированных систем в строительстве | 16 |
| 2.1 Обзор существующих роботов и роботизированных систем | 16 |
| 2.2 Характеристика известных технологии строительных 3D-принтеров | 17 |
| 2.3 Сравнительная характеристика строительных 3D-принтеров | 19 |
| 2.4 Компания Aris Cor и её строительные 3D-принтеры | 25 |
| 3 Разработка роботизированной системы для строительной индустрии | 28 |
| 3.1 Описание объекта исследования | 28 |
| 3.2 Выбор и описание датчиков для 3D-принтера | 32 |
| 3.3 Алгоритм управления роботом Aris Cor | 33 |
| 3.4 Разработка расчетной схемы | 36 |
| 3.5 Математическое описание модели серводвигателя | 38 |
| 3.6 Экономический эффект 3D печати в строительной индустрии | 43 |
| Заключение | 45 |
| Список использованной литературы | 47 |

ВВЕДЕНИЕ

Современная строительная индустрия сталкивается с рядом вызовов, таких как нехватка квалифицированных рабочих, высокие затраты на материалы и время, а также необходимость повышения производительности и качества работ. В связи с этим, все большее внимание уделяется разработке роботизированных систем для строительства.

Современные технологии позволяют автоматизировать и роботизировать многие процессы в строительной индустрии. Одним из наиболее перспективных направлений является разработка роботизированных систем для строительства, которые могут существенно ускорить и удешевить процесс строительства.

Одним из ключевых элементов таких систем являются 3D-принтеры, которые позволяют создавать объекты любой формы и сложности. В строительной индустрии 3D-принтеры используются для создания различных элементов конструкций, например, стен, фундаментов, перегородок и т.д. Это позволяет сократить время на их изготовление и уменьшить количество отходов.

Одним из наиболее интересных примеров применения 3D-принтеров в строительстве является создание домов. С помощью 3D-принтера можно создавать элементы дома, например, стены, которые затем могут быть быстро и легко собраны на месте. Такой подход позволяет значительно сократить время на строительство дома и уменьшить затраты на транспортировку строительных материалов.

Разработка роботизированных систем для строительства на основе 3D-принтеров представляет собой сложную задачу, которая требует интеграции различных технологий и компонентов.

Использование 3D-принтеров в строительстве имеет большой потенциал и может стать одним из ключевых элементов роботизированных систем для строительной индустрии. Разработка таких систем позволит значительно ускорить и удешевить процесс строительства, а также повысить качество и точность выполнения работ.

1 Технологии роботизации в строительной индустрии

1.1 Основные принципы роботизации

Роботизация – это процесс автоматизации, при котором управление и контроль над процессами осуществляются при помощи роботов и компьютерных систем. Основным принципом роботизации заключается в том, что роботы заменяют человека в выполнении определенных задач, что позволяет повысить эффективность и качество работы.

В современном мире роботизация становится все более актуальной темой, которая охватывает различные сферы деятельности, включая производство, медицину, транспорт и строительство. Роботизация позволяет автоматизировать множество процессов и улучшить качество выполняемых задач.

Одной из наиболее перспективных областей робототехники является строительная индустрия. С помощью роботизированных систем можно значительно ускорить процесс строительства и повысить точность и качество создаваемых конструкций.

Основные принципы роботизации включают в себя:

- Автоматизация процессов: роботизация позволяет автоматизировать рутинные и повторяющиеся задачи, что позволяет сократить время и улучшить качество работы.

- Интеграция с другими системами: роботы могут быть интегрированы с другими системами, такими как CRM, ERP и другими, что позволяет автоматизировать бизнес-процессы и улучшить эффективность работы.

- Гибкость и масштабируемость: роботы могут быть легко настроены и масштабированы в зависимости от потребностей.

- Безопасность: роботы могут выполнять опасные задачи, такие как работа с ядовитыми веществами или взрывоопасными материалами, что позволяет снизить риски для людей.

- Аналитика и отчетность: роботы могут собирать и анализировать данные, что позволяет улучшить производительность и принимать более обоснованные решения.

- Обучение и развитие: роботы могут быть обучены новым задачам и функциям, что позволяет улучшать их производительность и эффективность работы.

Роботизация позволяет улучшить производительность, снизить затраты и повысить качество работы. Роботизация является перспективным направлением развития технологий, которое позволяет повысить эффективность и качество работы в различных сферах деятельности. Однако, необходимо учитывать как положительные, так и отрицательные аспекты использования роботов и находить баланс между автоматизацией процессов и сохранением рабочих мест.

1.2 Примеры роботизированных систем в строительстве

Роботизация в строительстве – это процесс автоматизации строительных работ с помощью роботов и других автоматических устройств. Эта технология становится все более популярной в современном мире. Есть ряд примеров роботизированных систем используемых в строительстве:

1) Роботизированные кирпичные стеноставочные машины

Роботизированные кирпичные стеноставочные машины используются для автоматической укладки кирпичей при строительстве стен. Эти машины могут укладывать кирпичи с высокой точностью и скоростью, что позволяет сократить время строительства и снизить затраты на трудовые ресурсы. Кроме того, роботизированные кирпичные стеноставочные машины могут работать в труднодоступных местах, где традиционные методы укладки кирпичей неэффективны (рисунок 1).

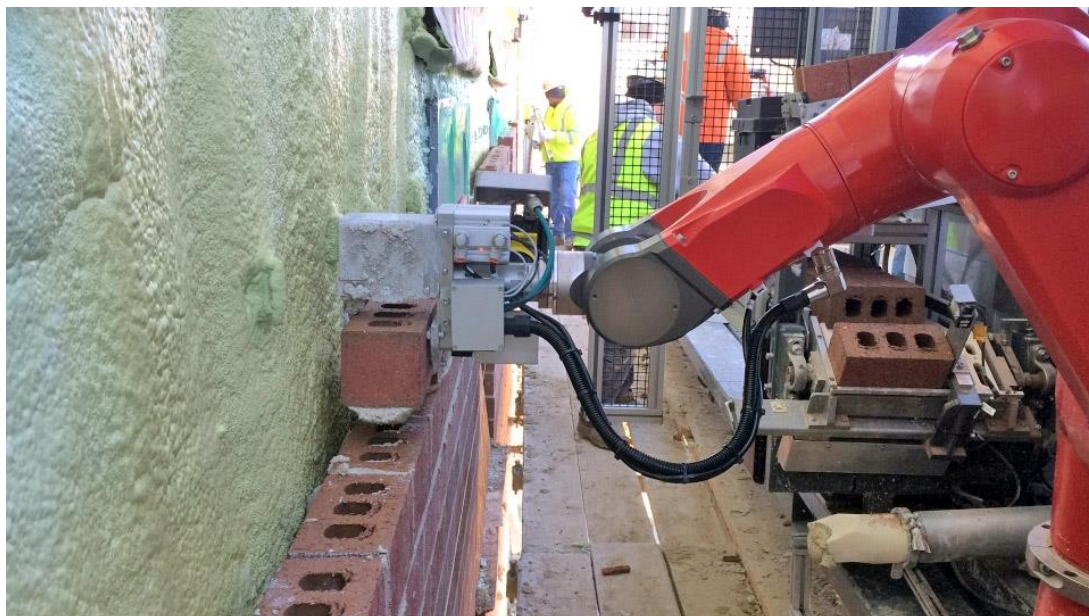


Рисунок 1 – Роботизированные кирпичные стеноставочные машины

2) Роботизированные сварочные системы

Роботизированные сварочные системы используются для автоматической сварки металлических конструкций. Эти системы могут сваривать с высокой точностью и скоростью, что позволяет сократить время строительства и снизить затраты на трудовые ресурсы. Кроме того, роботизированные сварочные системы могут работать в условиях, где традиционные методы сварки неэффективны (рисунок 2).

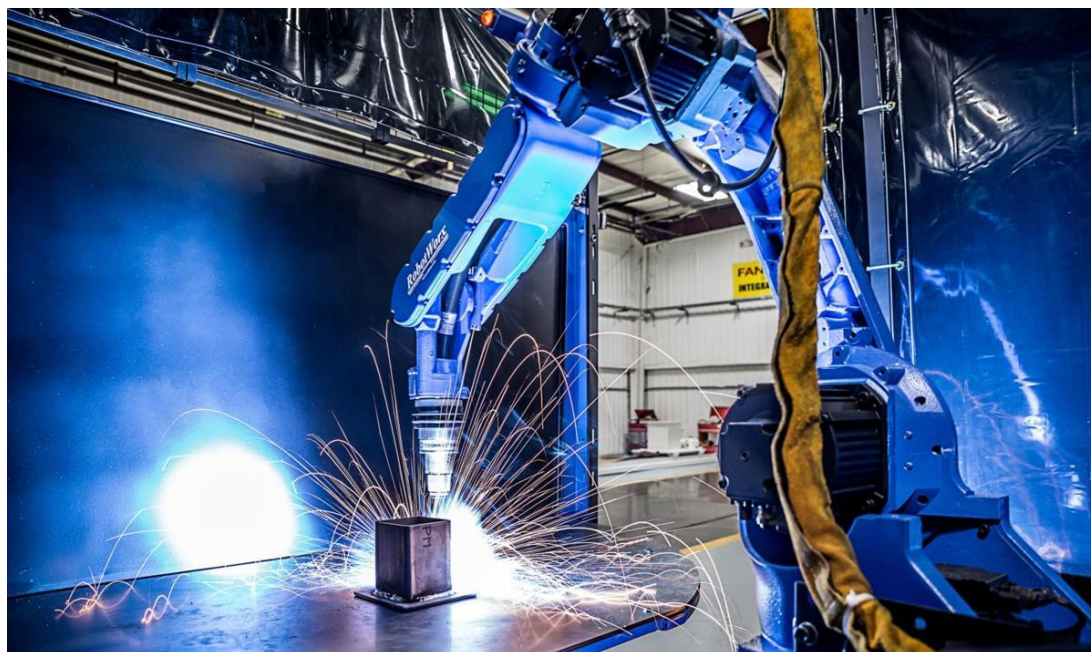


Рисунок 2 – Роботизированные сварочные системы

3) Роботы-манипуляторы

Эти роботы могут перемещать и устанавливать различные объекты на строительной площадке, что позволяет ускорить процесс строительства и снизить затраты на рабочую силу (рисунок 3).



Рисунок 3 – Роботы-манипуляторы

4) Роботизированные системы для укладки асфальта

Роботизированные системы для укладки асфальта – это специализированные машины, которые используются для автоматической укладки асфальта на дорогах и других покрытиях. Они состоят из робота-укладчика, который управляется с помощью компьютерной программы и способен точно распределять асфальт по поверхности.

Такие системы позволяют значительно ускорить процесс укладки асфальта, снизить затраты на труд и повысить качество работ. Роботизированные системы для укладки асфальта также могут быть оснащены дополнительными устройствами, такими как датчики для контроля качества укладки, системы навигации и т.д. (рисунок 4).



Рисунок 4 – Роботизированные системы для укладки асфальта

5) Роботы 3D-печати

Роботы 3D-печати – это автоматизированные устройства, способные создавать трехмерные объекты из различных материалов, таких как пластик, металл, бетон и другие. Они используются в различных отраслях, включая промышленность, медицину, архитектуру и строительство (рисунок 5).



Рисунок 5 – Роботы 3D-печати

В строительстве роботы 3D-печати могут использоваться для создания элементов зданий, таких как стены, перегородки, крыши и другие конструкции. Это позволяет сократить время и затраты на строительство, а также уменьшить количество отходов и повысить точность изготовления.

1.3 BIM-технологии в строительной индустрии

BIM-технологии (Building Information Modeling) – это комплексный подход к проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений, основанный на использовании цифровых моделей объектов. Эта технология позволяет создавать точные трехмерные модели зданий, которые содержат всю необходимую информацию о конструкции, материалах, системах коммуникаций и т.д. (рисунок 6).

Применение BIM-технологий в строительной индустрии позволяет существенно ускорить процесс проектирования и строительства, а также повысить качество и точность создаваемых конструкций. С помощью BIM-технологий можно проводить виртуальное моделирование зданий и сооружений, что позволяет выявлять ошибки и проблемы еще на стадии проектирования и предотвращать их возникновение в процессе строительства.

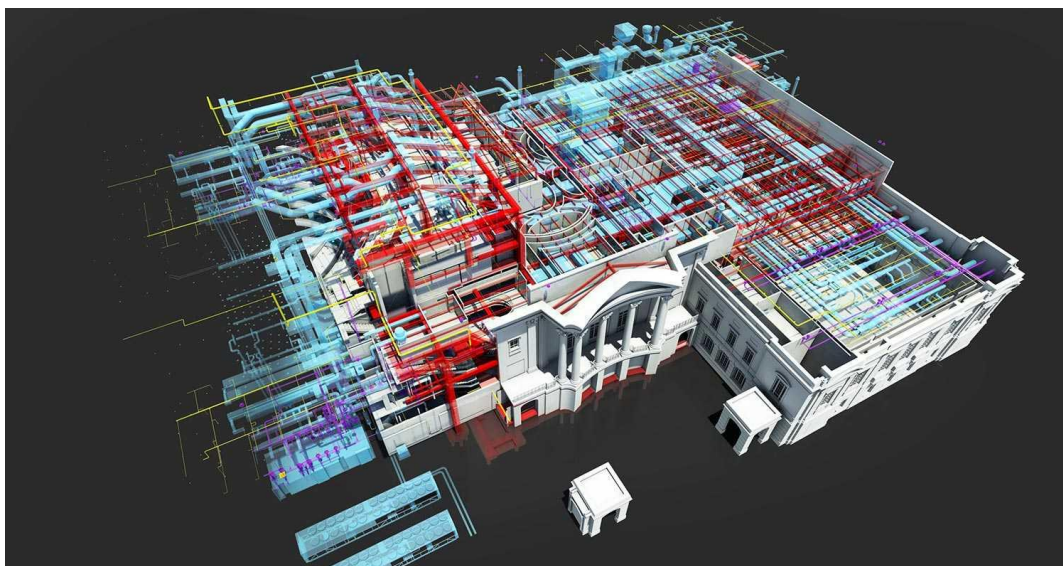


Рисунок 6 – BIM-технологии в строительной индустрии

Основными преимуществами BIM являются:

- Улучшение качества проектирования и строительства. BIM позволяет увидеть все возможные проблемы и ошибки на ранних стадиях проектирования, что позволяет избежать дополнительных затрат и задержек в строительстве.

- Увеличение эффективности работы. BIM позволяет автоматизировать многие процессы, связанные с проектированием и строительством, что позволяет сократить время и затраты на выполнение работ.

- Улучшение коммуникации между участниками проекта. BIM позволяет создавать единую модель, которая доступна всем участникам проекта, что упрощает коммуникацию и снижает вероятность ошибок.

- Улучшение управления проектом. BIM позволяет управлять проектом более эффективно, так как все данные связаны между собой и доступны в режиме реального времени.

- Улучшение эксплуатации объекта. BIM позволяет создавать цифровую модель объекта, которая содержит всю необходимую информацию для его эксплуатации, что позволяет снизить затраты на обслуживание и увеличить срок службы объекта.

Одним из примеров применения BIM-технологий является проект строительства нового аэропорта в Дохе (Катар), где была использована цифровая модель здания для оптимизации процесса строительства и управления проектом.

Применение BIM-технологий также позволяет улучшить взаимодействие между различными участниками проекта (архитекторами, инженерами, строителями и т.д.) и повысить эффективность коммуникации.

Однако, применение BIM-технологий требует значительных затрат на обучение и внедрение системы, а также наличия специалистов, которые могут работать с цифровыми моделями зданий. Кроме того, необходимо учитывать

возможные проблемы совместимости между различными программными продуктами, используемыми в рамках BIM-технологий.

1.4 Преимущества и недостатки роботизации в строительстве

Преимущества 3D печати в строительстве:

Экономия времени и денег. 3D печать позволяет быстро и точно создавать детали зданий без необходимости использовать большую команду рабочих и традиционное оборудование.

Уменьшение отходов. При традиционном строительстве до 30% материалов могут оказаться в отходах. 3D печать позволяет использовать только необходимое количество материалов, что уменьшает количество отходов.

Снижение ошибок. При использовании традиционных способов строительства часто происходят ошибки, которые могут повлиять на качество и безопасность здания. 3D печать позволяет создавать детали с высокой степенью точности.

Гибкость и индивидуальность. При использовании 3D печати можно легко создавать индивидуальные детали и уникальные проекты, что дает более широкий диапазон возможностей.

Улучшенная устойчивость к стихийным бедствиям. С помощью 3D печати можно создавать здания с улучшенной устойчивостью к стихийным бедствиям, таким как землетрясения, ураганы и т.д.

Одним из главных преимуществ роботизации в строительстве является повышение производительности. Роботы могут выполнять задачи быстрее и более точно, чем человек, что позволяет сократить время строительства и увеличить количество проектов, которые можно выполнить за определенный период времени. Кроме того, роботы могут работать круглосуточно без перерывов на отдых и питание, что также увеличивает производительность.

Еще одним преимуществом роботизации в строительстве является повышение качества работ. Роботы могут выполнять задачи с высокой точностью и повторяемостью, что уменьшает вероятность ошибок и дефектов в конечном продукте. Кроме того, роботы могут работать в условиях, которые опасны или непригодны для человека, что уменьшает риск травм и других производственных несчастных случаев.

Однако роботизация в строительстве имеет и недостатки. Один из главных недостатков – это высокая стоимость внедрения технологии. Роботы и другие автоматические устройства стоят дорого, и не каждая компания может позволить себе инвестировать в эту технологию. Кроме того, роботизация требует высококвалифицированных специалистов, которые могут программировать и обслуживать роботов, что также увеличивает затраты на внедрение технологии.

Еще одним недостатком роботизации в строительстве является ограниченность в задачах, которые могут быть выполнены роботами. Некоторые задачи, такие как принятие решений и решение проблем, требуют человеческого интеллекта и опыта, которые не могут быть заменены роботами. Кроме того, роботы не могут адаптироваться к изменяющимся условиям на стройке, что может привести к задержкам и проблемам в процессе строительства.

1.5 Общая характеристика 3D технологии

3D технология – это инновационный способ создания трехмерных объектов с помощью 3D принтера. Эта технология позволяет создавать любые объекты, начиная от простых игрушек и заканчивая сложными деталями для строительства, медицины и т.д.

Основным преимуществом 3D технологии является возможность быстрого и точного изготовления объектов без необходимости использования сложных инструментов и материалов.

Однако, несмотря на все преимущества 3D технологии, у нее есть и некоторые недостатки. Во-первых, стоимость 3D принтеров до сих пор остается довольно высокой, что делает их недоступными для многих пользователей. Во-вторых, процесс создания объектов может занимать довольно много времени, особенно если речь идет о сложных и крупных объектах.

Тем не менее, 3D технология является одной из самых перспективных и инновационных технологий на сегодняшний день. Ее использование позволяет создавать уникальные объекты, которые раньше были недоступны для производства, а также значительно ускоряет и упрощает процесс производства в различных отраслях промышленности.

Основными характеристиками 3D технологии являются:

- Трехмерность – возможность создания и воспроизведения объектов в трехмерном пространстве.
- Реалистичность – возможность создания объектов, которые выглядят как настоящие.
- Интерактивность – возможность взаимодействия с 3D объектами, изменения их формы, размера, цвета и т.д.
- Визуализация – возможность создания визуальных эффектов, которые невозможно достичь в реальном мире.
- Анимация – возможность создания движущихся объектов и персонажей.

2 Анализ существующих роботизированных систем в строительстве

2.1 Обзор существующих роботов и роботизированных систем

В последние годы роботизация в строительной индустрии стала все более популярной. Роботы и роботизированные системы используются для выполнения различных задач, таких как монтаж, сварка, резка, бетонирование и т.д. Ниже представлен обзор некоторых существующих роботов и роботизированных систем в строительной индустрии:

- SAM100 – робот для монтажа стен и потолков. Он может поднимать и устанавливать панели весом до 80 кг и имеет точность позиционирования до 0,5 мм;

- Hadrian X – робот для строительства стен из кирпича. Он может укладывать кирпичи со скоростью до 1000 штук в час и имеет точность позиционирования до 0,5 мм;

- Robo-Welder – робот для сварки металлических конструкций. Он может сваривать различные типы металла и имеет точность позиционирования до 0,1 мм;

- Husqvarna DXR – робот для демонтажа и резки бетона. Он может резать бетонные блоки, стены и полы, а также удалять арматуру и имеет точность позиционирования до 1 мм;

- MULE – робот для бетонирования. Он может перемещаться по строительной площадке и бетонировать различные поверхности, имеет точность позиционирования до 1 мм;

- TyBot – робот для установки арматуры. Он может устанавливать арматуру на строительной площадке и имеет точность позиционирования до 1 мм;

- Bricklaying Robot – робот для укладки кирпича. Он может укладывать кирпичи со скоростью до 300 штук в час и имеет точность позиционирования до 0,5 мм;

- Autonomous Robotic Construction System – роботизированная система для строительства зданий. Она может выполнять различные задачи, такие как монтаж, сварка, резка и бетонирование, и имеет точность позиционирования до 0,1 мм.

Это лишь некоторые примеры роботов и роботизированных систем, используемых в строительной индустрии. С развитием технологий и улучшением производительности, можно ожидать появления еще более продвинутых роботов и систем в будущем.

Современные роботы и системы в строительной индустрии могут значительно повысить эффективность и безопасность строительных работ. Они могут выполнять задачи быстрее, точнее и безопаснее, чем человек. В будущем мы можем ожидать еще большего развития робототехники в строительной индустрии.

2.2 Характеристика известных технологии строительных 3D-принтеров

3D-печать – это технология, которая позволяет создавать трехмерные объекты из различных материалов. Современные технологии 3D-печати стали широко применяться в различных отраслях, включая строительную индустрию. 3D-принтеры для строительства позволяют создавать детали и конструкции быстрее и с меньшим количеством отходов, что делает их более экономичными и экологичными.

Компании, которые специализируются на строительных 3D-принтерах:

1) Contour Crafting Corporation

Contour Crafting Corporation – это компания, которая занимается разработкой и производством 3D-принтеров для строительства. Основной продукт компании – это 3D-принтеры, которые могут строить дома и другие здания из бетона и других материалов.

Принцип работы 3D-принтеров Contour Crafting Corporation основан на технологии слоевого нанесения материала. Принтер создает модель здания, которая затем печатается слой за слоем. Это позволяет быстро и точно создавать стены, потолки и другие элементы здания.

Преимущества 3D-принтеров Contour Crafting Corporation включают в себя:

- Быстрое и точное строительство зданий;
- Снижение затрат на строительство;
- Уменьшение отходов и экологических проблем;
- Возможность создания уникальных дизайнов и форм зданий.

Компания Contour Crafting Corporation уже провела несколько успешных тестовых проектов, включая строительство домов и других зданий. Они также работают над улучшением технологии и расширением своей линейки продуктов.

2) Winsun

Компания Winsun, основанная в 2002 году в Китае, является одним из лидеров в области 3D-печати зданий. Она разработала и запустила в производство несколько моделей 3D-принтеров для строительства домов и других сооружений.

Одним из наиболее известных проектов компании является строительство 10-этажного здания в городе Шанхай в 2015 году. Для этого был использован 3D-принтер, который печатал стены и другие элементы здания из бетона. Весь процесс занял всего 24 часа.

Winsun также работает над проектами по строительству домов для бедных слоев населения в разных странах мира, в том числе в Индии, Африке и Латинской Америке. Компания утверждает, что ее технология позволяет снизить стоимость строительства на 50-70% по сравнению с традиционными методами.

Однако, несмотря на успехи компании, некоторые эксперты высказывают опасения относительно качества и долговечности зданий, построенных с помощью 3D-принтеров. Также возникают вопросы о том, как эта технология может быть применена в условиях массового производства и строительства многоэтажных зданий.

3) Apis Cor

Apis Cor – это российская компания, которая занимается производством 3D-принтеров для строительства зданий. Они используют технологию FDM (Fused Deposition Modeling), которая позволяет создавать объекты из пластика. Apis Cor создает здания из пластиковых блоков, которые затем соединяются между собой. Эта технология позволяет создавать здания быстрее и дешевле, чем традиционные методы строительства.

4) CyBe Construction

Компания CyBe Construction, основанная в Нидерландах в 2013 году, специализируется на разработке и производстве 3D-принтеров для строительства. Они предлагают несколько моделей 3D-принтеров, которые могут печатать различные элементы зданий, включая стены, фундаменты, перекрытия и другие конструкции.

Одной из главных особенностей 3D-принтеров CyBe Construction является возможность печати смесей бетона и других материалов, таких как песок, керамика и стекловолокно. Это позволяет создавать более прочные и долговечные конструкции, чем традиционные методы строительства.

Компания также предлагает программное обеспечение для управления 3D-принтерами и создания 3D-моделей зданий. Они работают с различными клиентами, включая архитекторов, инженеров и строительные компании, чтобы создавать инновационные и экологически чистые здания.

5) WASP

Компания WASP (World's Advanced Saving Project) – это итальянский производитель 3D-принтеров, который занимается разработкой и производством экологически чистых и энергоэффективных 3D-принтеров для строительства домов и других объектов.

Одним из наиболее известных продуктов компании WASP является 3D-принтер Delta WASP, который может использоваться для создания объектов различных размеров и форм. Кроме того, WASP разработала 3D-принтеры, которые могут использоваться для создания домов и других строительных объектов из различных материалов, включая глину, песок, цемент и другие.

Одним из наиболее интересных проектов компании WASP является проект «BigDelta», который представляет собой огромный 3D-принтер, способный создавать дома и другие объекты высотой до 12 метров. Этот проект был создан с целью помочь бедным и нуждающимся людям получить доступ к качественному жилью по доступной цене.

Компания WASP продолжает развивать свои технологии и продукты, чтобы помочь людям по всему миру получить доступ к качественному жилью и другим строительным объектам.

Технологии строительных 3D-принтеров – это инновационные методы строительства, которые позволяют создавать здания быстрее и дешевле, чем традиционные методы. Они нашли свое применение во многих отраслях, и их использование будет продолжаться в будущем.

Существует несколько технологий строительных 3D-принтеров, но основными являются:

1) Fused Deposition Modeling (FDM) – технология, при которой пластиковый филамент нагревается и выдавливается из сопла, создавая слой за слоем объект;

2) Powder Bed Fusion (PBF) – технология, при которой тонкий слой порошка распределяется на рабочей поверхности, а затем лазер или электронный луч плавит порошок, создавая слой за слоем объект;

3) Stereolithography (SLA) – технология, при которой лазер или световой проектор затвердевает жидкий полимерный материал, создавая слой за слоем объект;

4) Binder Jetting – технология, при которой связующее вещество наносится на слой порошка, создавая слой за слоем объект;

5) Concrete Extrusion – технология, при которой бетонная смесь выдавливается из сопла, создавая слой за слоем объект;

6) Large Scale Additive Manufacturing (LSAM) – технология, при которой большие объекты создаются путем наложения слоев материала с помощью экструзии или других методов.

2.3 Сравнительная характеристика строительных 3D-принтеров

Для сравнительной характеристики были выбраны 3D-принтеры таких компаний, как Winsun, CyBe Construction, Apis Cor, WASP и Contour Crafting Corporation.

Технические характеристики строительного 3D-принтера от компании Winsun 3D-принтер D1 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики Winsun 3D-принтер D1

| Технология печати | FDM (Fused Deposition Modeling) |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Максимальный размер печати | 220 x 220 x 250 мм |
| Точность печати | 0,1 мм |
| Диаметр сопла | 0,4 мм |
| Максимальная температура сопла | 260°C |
| Максимальная температура платформы | 110°C |

| | |
|-------------------------------|--|
| Материалы для печати | PLA, ABS, TPU, PETG, Nylon, PVA и другие |
| Скорость печати | до 180 мм/с |
| Подключение | USB, SD-карта |
| Поддержка операционных систем | Windows, Mac, Linux |
| Поддержка форматов файлов | STL, OBJ, G-Code |

Особенности:

- Конструкция рамы из алюминиевых профилей обеспечивает высокую жесткость и стабильность печати;
- Автоматическая калибровка платформы;
- Крупный сенсорный экран для удобного управления принтером;
- Возможность продолжения печати после аварийного отключения питания;
- Поддержка функции автоматической замены нити;
- Встроенный вентилятор для охлаждения деталей во время печати;
- Открытая конструкция для удобства наблюдения за процессом печати.

Winsun 3D-принтер D1 – это надежный и удобный в использовании принтер с широкими возможностями для печати различных деталей и изделий. Он подходит как для домашнего использования, так и для профессиональной работы в области прототипирования и производства.

Компания WASP производит несколько моделей 3D-принтеров, но для рассмотрения был выбран модель – Delta WASP 3MT (рисунок 7).



Рисунок 7 – Delta WASP 3MT

Технические характеристики 3D-принтера модели Delta WASP 3MT приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики Delta WASP 3MT

| | |
|------------------------------------|---|
| Технология печати | FDM (Fused Deposition Modeling) |
| Размер печатной камеры | 1000 x 1000 x 1000 мм |
| Максимальная высота печати | 400 мм |
| Точность печати | 50 микрон |
| Диаметр сопла | 0,4 мм, (стандартный), 0.7 мм, 1.2 мм, 2.0 мм (опционально) |
| Материалы для печати | PLA, ABS, PETG, Nylon, TPU, PP, PVA, Carbon, Wood, Metal, Ceramic и другие |
| Скорость печати | до 250 мм/с |
| Подключение | Wi-Fi и USB-подключения |
| Поддержка программного обеспечения | Cura, Simplify3D, Repetier-Host, OctoPrint и другие |
| Мощность | 220 В, 50 Гц, 2000Вт |
| Размер принтера | 1500 x 1500 x 2200 мм |
| Вес | 250 кг |
| Стоимость | от \$20 000 до \$30 000 в зависимости от комплектации и дополнительных опций. |

Особенности:

- Delta WASP 2040 оснащен автоматическим калибровочным датчиком, который позволяет быстро и точно настроить принтер перед печатью;

- Принтер имеет закрытую камеру, что позволяет сохранять стабильную температуру внутри и улучшает качество печати;

- Delta WASP 2040 может работать с различными материалами, включая экзотические, такие как металлические и керамические;

- Принтер имеет возможность печати с нескольких сопел одновременно, что позволяет ускорить процесс печати и использовать разные материалы в одной модели;

- Delta WASP 2040 имеет открытую архитектуру, что позволяет пользователям модифицировать и улучшать принтер по своему усмотрению.

Delta WASP 2040 – это мощный и универсальный 3D-принтер, который может использоваться для создания различных моделей и прототипов. Он имеет высокую точность печати, широкий выбор материалов и поддерживает работу с различными программными обеспечениями.

Компания CyBe Construction производит 3D-принтеры для строительства, и для рассмотрения был выбран модель – CyBe RC 3Dp (рисунок 8).



Рисунок 8 – CyBe RC 3Dp

Технические характеристики 3D-принтера модели CyBe RC 3Dp приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики CyBe RC 3Dp

| | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Технология печати | FFF (Fused Filament Fabrication) |
| Материалы | бетон, цемент, гипс, полимерные смеси |
| Размеры печатной платформы | 2,5 м x 2,5 м x 2,5 м |
| Скорость печати | до 200 мм/с |
| Точность печати | до 0,5 мм |
| Максимальная высота печати | 3 м |
| Мощность | 15 кВт |
| Напряжение | 380 В |
| Вес | 1500 кг |
| Программное обеспечение | CyBe Construction Software |

Особенности:

- Большой объем печати: CyBe RC 3Dp может печатать объекты размером до 6 метров в длину, 2,5 метров в ширину и 3 метров в высоту;
- Быстрый процесс печати: благодаря высокой скорости печати, CyBe RC 3Dp может создавать объекты за несколько часов;
- Использование бетона: в отличие от многих других 3D-принтеров, которые используют пластик или металл, CyBe RC 3Dp использует бетон, что позволяет создавать прочные и долговечные объекты;
- Мобильность: CyBe RC 3Dp установлен на шасси, что позволяет перемещать его на строительную площадку и использовать для создания объектов на месте;
- Управление через приложение: с помощью специального приложения можно управлять процессом печати и мониторить его прогресс в режиме реального времени;
- Экологичность: использование бетона вместо пластика или металла делает процесс печати более экологичным и устойчивым к воздействию окружающей среды.

Дополнительные функции: автоматическая калибровка, система охлаждения, система контроля качества печати.

Этот 3D-принтер предназначен для строительства больших объектов, таких как здания, мосты, дороги и т.д. Он может использоваться для печати как простых, так и сложных форм, а также для создания деталей с высокой точностью. CyBe RC 3Dp имеет высокую скорость печати и может работать с различными материалами, что делает его универсальным инструментом для строительства.

Технические характеристики 3D-принтера от компании Aris Cor приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики 3D-принтера от компании Aris Cor

| | |
|---|---|
| Рабочая зона | 132 м ² |
| Рабочая скорость движения | 1-11 м/мин |
| Высота подъема с одной точки | 3100 мм |
| Точность позиционирования | ±0.5 мм |
| Скорость печати | до 10м /час |
| Производительность | 100 м ² полезной площади в сутки |
| Скорость холостого хода X/Y | 19.0 мм/мин |
| Точность по оси Z | 0.1-0.2 мм |
| Точность второстепенного позиционирования | 0.1-0.2 мм |
| Привод по осям, X/Y/Z | Сервопривод |

| | |
|--|--|
| Реверсные выключатели | Бесконтактные на всех осях |
| Линейные направляющие в осях X/Y | Прецизионные профильные |
| Автоматическая горизонтальная стабилизация | Высокоточный инклинометр с погрешностью 0.001 градус |
| Координаты положения печатной головки в пространстве | Гироскоп, лазерный дальномер |
| Стабилизация в пространстве | ПИД регулятор |

Для разработки роботизированной системы для строительной индустрии было разработано здание с размером 12 x 11 м, с высотой 3 м. Чертеж здания показан на рисунке 9.

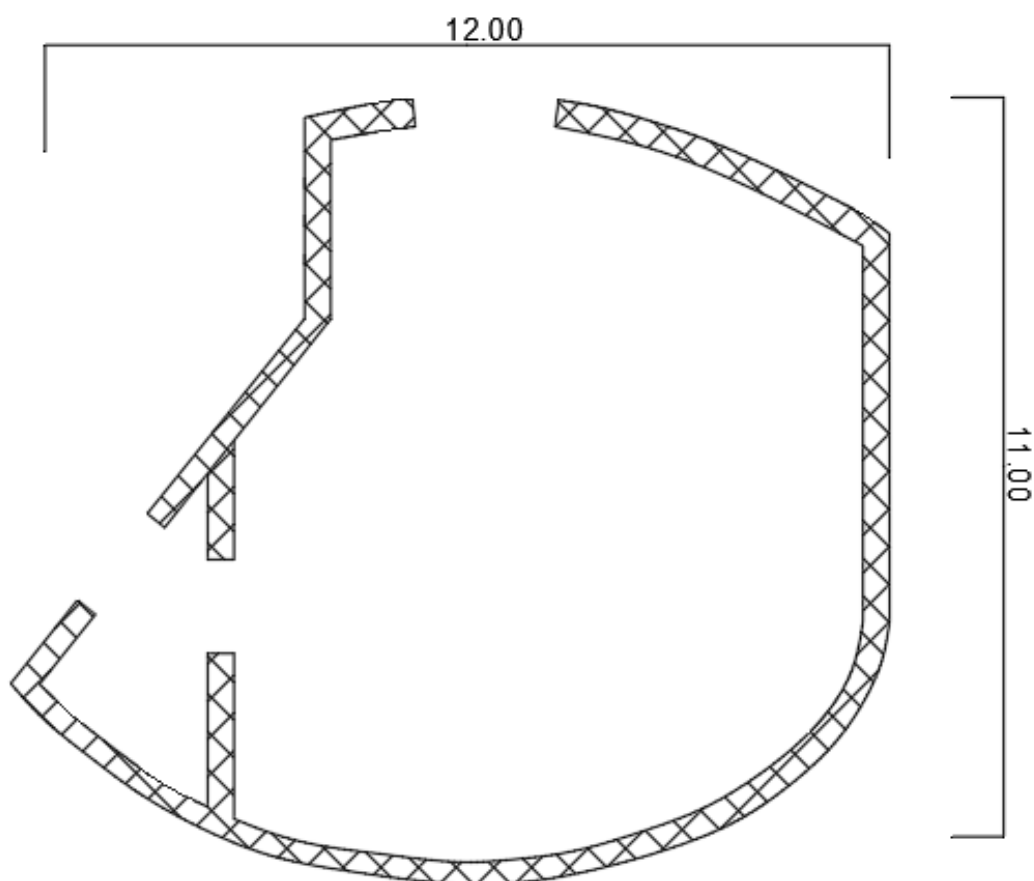


Рисунок 9 – Чертеж здания

После рассмотрения технических характеристик моделей строительных 3D-принтеров, было выявлено, что самым оптимальным вариантом для стройки данного здания будет строительный 3D-принтер от компании Apis Cor.

2.4 Компания Apis Cor и её строительные 3D-принтеры

Компания Apis Cor – это российский стартап, который занимается разработкой и производством 3D строительных принтеров. Основной целью компании является создание быстрого, экономичного и экологически чистого способа строительства.

Компания Apis Cor была основана в 2016 году в России и занимается разработкой и производством 3D-принтеров для строительства. Одним из наиболее известных продуктов компании является 3D-принтер для строительства домов.

Принцип работы 3D строительных принтеров заключается в том, что они печатают трехмерные объекты из различных материалов, таких как бетон, пластик и металл. Это позволяет создавать здания и сооружения любой формы и размера, а также ускоряет процесс строительства и снижает его стоимость.

Одним из главных преимуществ 3D строительных принтеров является возможность создания объектов любой формы и размера. Это позволяет строить здания, которые ранее были невозможными или очень дорогостоящими в производстве. Кроме того, 3D строительные принтеры позволяют сократить время строительства и снизить его стоимость, так как не требуется большое количество рабочей силы и материалов.

Однако у 3D строительных принтеров есть и недостатки. Один из них – это ограниченность материалов, которые могут быть использованы для печати. Некоторые материалы могут быть слишком тяжелыми или не подходят для использования в строительстве. Кроме того, 3D строительные принтеры требуют высокой точности и качества печати, что может быть сложно достичь в условиях строительной площадки.

Компания Apis Cor и ее 3D строительные принтеры представляют собой инновационный подход к строительству, который может изменить отрасль в будущем. Несмотря на некоторые недостатки, 3D строительные принтеры имеют множество преимуществ, которые могут существенно ускорить и удешевить процесс строительства.

Apis Cor использует для печати своих 3D-принтеров бетонную смесь, которая состоит из цемента, песка, воды и добавок для улучшения свойств материала. Эта смесь позволяет создавать прочные и долговечные конструкции, которые могут использоваться в строительстве жилых и коммерческих зданий (рисунок 10).



Рисунок 10 – Процесс работы

Компания Apis Cor уже успела реализовать несколько проектов, используя свой 3D-принтер для строительства домов. Один из наиболее известных проектов - это дом, построенный в городе Санкт-Петербурге в 2017 году. Дом был построен за 24 часа и имеет площадь 38 квадратных метров (рисунок 11).



Рисунок 11 – Здание, построенное за 24 часа

Одной из главных особенностей 3D-принтера Apis Cor является его мобильность. Принтер может быть легко перемещен с одной строительной

площадки на другую, что делает его идеальным для строительства домов в отдаленных районах или на местах с ограниченным доступом.

3D-принтер Apis Cor имеет компактный размер и может быть установлен на строительной площадке. Он использует бетонную смесь для печати стен и других элементов дома. Скорость печати составляет около 10 квадратных метров в час.

Принтер также имеет низкие эксплуатационные затраты и может быть использован для строительства как одноэтажных, так и многоэтажных зданий. Это делает его идеальным для использования в различных проектах строительства, включая жилые дома, коммерческие здания и инфраструктуру.

Кроме того, 3D-принтер Apis Cor имеет высокую точность печати и может создавать сложные формы и дизайны. Это позволяет создавать уникальные и инновационные дома, которые не могут быть созданы с помощью традиционных методов строительства.

Создание здания на 3D-принтере Apis Cor занимает от 24 до 48 часов, в зависимости от типа и сложности проекта. Процесс строительства является более дешевым и менее «грязным», чем традиционный способ строительства зданий. Здание, созданное на 3D-принтере, имеет устойчивую структуру и высокую прочность. Создание здания на 3D-принтере также значительно сокращает время, необходимое для строительства, и позволяет быстро решать жилищные проблемы в различных областях мира.

3 Разработка роботизированной системы для строительной индустрии

3.1 Описание объекта исследования

Мобильный 3D-принтер – автономное устройство, которое может заменить целую бригаду рабочих и помочь сэкономить время и деньги на уборке строительного мусора, покупке инструментов и отделке. Кроме того, качество работы, выполненной при помощи этого устройства, будет на высоком уровне, так как создатели Aris Cor приложили максимум усилий, чтобы уменьшить влияние человеческого фактора и погрешностей, которые могут возникнуть при выполнении работ вручную.

Детализированная схема 3D-принтера манипуляторного типа изображена на рисунке 12.

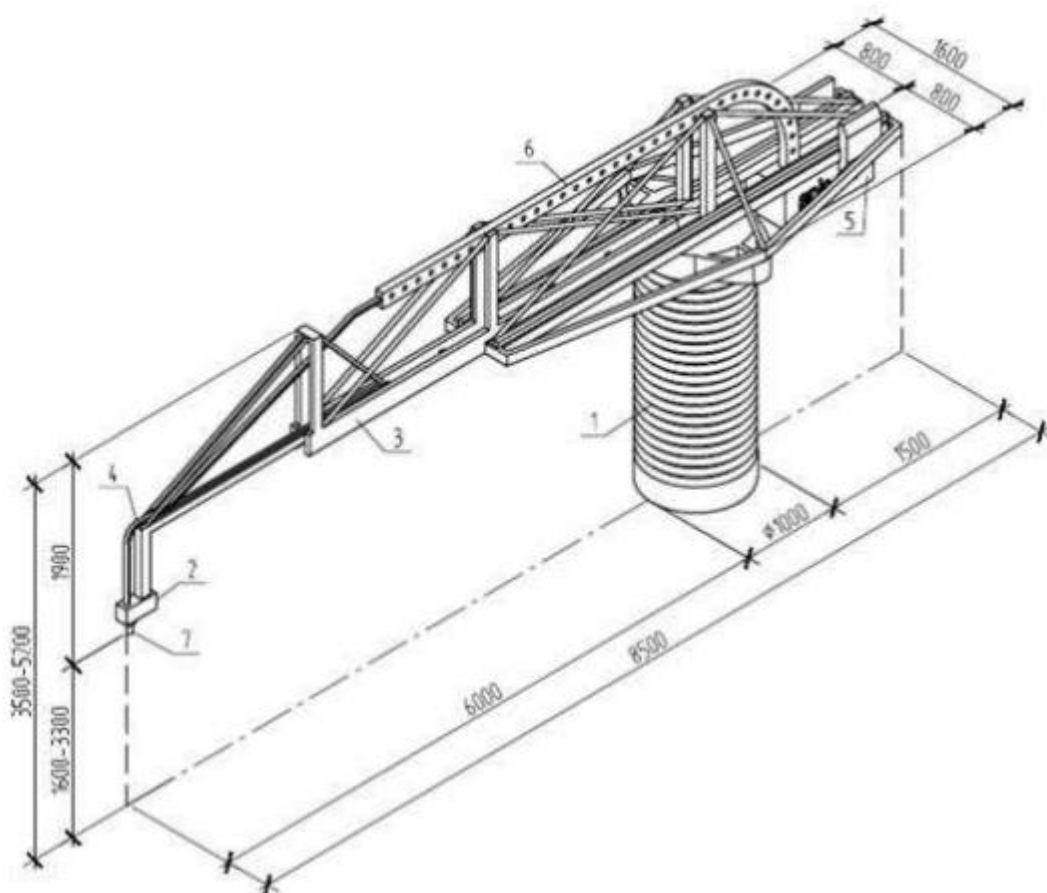


Рисунок 12 – Детализированная схема 3D-принтера:

1 – подъемно-поворотная опорная часть; 2 – экструдер; 3 – маневровая стрела; 4 – бетоновод; 5 – противовес; 6 – защитный кожух бетоновода; 7 – система ультразвукового контроля раствора

Конструкция строительного принтера такого типа, являет собой механическую выдвигающую стрелу на поворотном механизме, закрепленную на

опоре с функцией подъема. Для реализации строительной 3D печати на конце стрелы расположен экструдер с ультразвуковым датчиком. При совместной работе поворотной части и механизмов выдвижения стрелы обеспечивается перемещение печатающей головки в направлении по, параллельным горизонту, осям X и Y. В свою очередь, после завершения цикла на одной высотной отметке, подъемно-оперная часть поднимает конструкцию на следующую, вдоль вертикальной оси Z.

Структурно механизм разделен на несколько частей:

- Дорожка оси X;
- Дорожка оси Z;
- Печатающая головка;
- Система верхне й стабилизации;
- Автобетононасос.

В связи с особенностью своей конструкции и механизма поворота, стрела перемещается радиально. Выдвижение стрелы и подъем конструкции осуществляется строго прямолинейно вдоль осей X и Z соответственно. Линейное перемещение печатающей головки вдоль оси Y осуществляется совместной работой механизмов выдвижения стрелы и поворота. Точность положения экструдера определяют гироскоп и лазерный дальномер. Благодаря этому возводимые конструкции могут иметь как круглые и овальные, так и прямоугольные формы.

Устройство строительной трёхмерной печати имеет выдвижную стрелу общей длиной 8,5 метров и вылетом 6 метров от опоры. При установке противовеса стрела выдвигается на дополнительные 2,5 метра, что увеличивает максимальную рабочую зону до 227 м². Стоит учитывать, что рабочая зона имеет форму окружности и проектируемые конструкции должны быть вписаны в эту окружность. Максимальная высота подъема опорной платформы составляет 3,1 м.

Для продолжения возведения конструкций для принтера устраивается любое жесткое основание, подходит как жестко закрепленный каркас, так и конструкции перекрытия.

Все механизмы оснащены датчиками положений, которые определяют взаимное расположение головки и рычага. Пока в бункере система автоматически регулирует позиционирование и подачу, бетонная смесь непрерывно поступает по системе подачи к экструдеру.

Процесс печати строительных конструкций таким устройством изображен на рисунке 13.

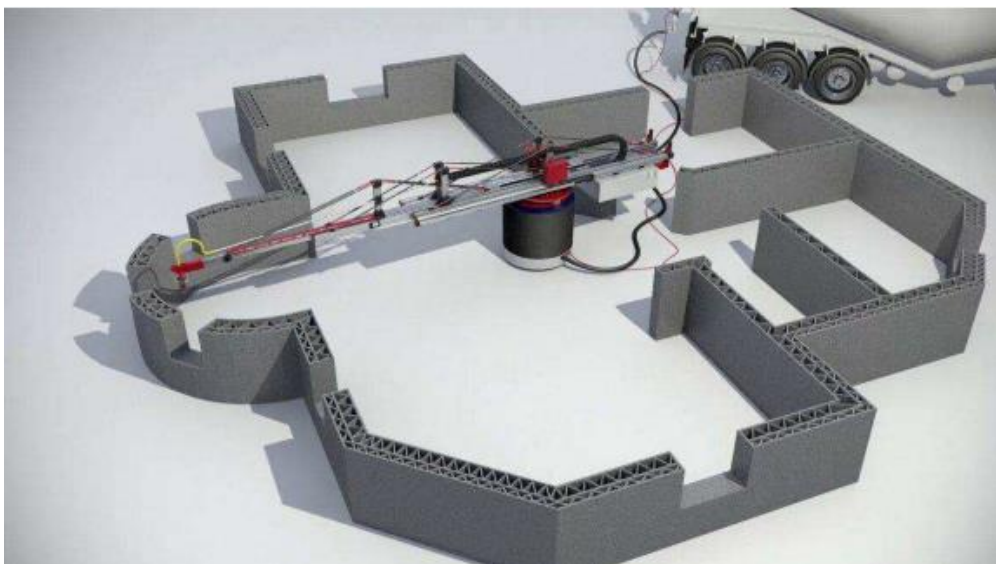


Рисунок 13 – Строительная 3D печать

Таким образом, строительный трехмерный принтер-манипулятор является простым в установке устройством, способным создавать бетонные конструкции неограниченной высоты при учете их несущей способности. Независимые работа и приведение в движение строительной печатающей головки и рычага автобетононасоса.

Алгоритмы процесса запуска программной системы принтера и система обратной связи сервопривода, адаптированной к программному управлению, рассмотрены пунктами А и В соответственно, на рисунке 14.

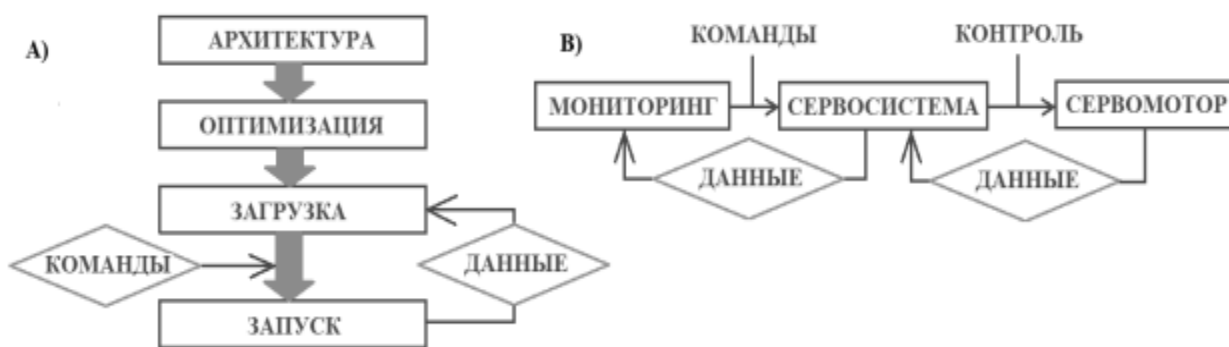


Рисунок 14 – Алгоритмы процесса: А) Процесс запуска; В) Обратная СВЯЗЬ

Алгоритм процесса запуска, включает разработку архитектурного проекта, после чего компьютер послойно нарезает, а также оптимизирует путь, загружает файл в систему контроля, затем идет промежуточный этап создания команд, запуск трехмерной печати и обратной связи в режиме реального времени.

Система обратной связи, состоит из компьютерного мониторинга, системы контроля сервоприводов и непосредственно самих сервоприводов, а также цикла обмена данных и промежуточных этапов создания команд и контроля.

Данная программная система имеет следующие характеристики:

1) С поступлением информации о координатах, в режиме реального времени, обратная связь устраняет явление отключения, чем помогает всей системе работать точно. Такое явление вызвано остановкой двигателя и частым высокоскоростным пуском.

2) Данные таких параметров, как скорость печати, температура двигателя, нагрузка двигателя отслеживаются благодаря системе обратной связи. Как только система обнаруживает угрозу перегрузки двигателя либо увеличивается температура, выявляется вероятность короткого замыкания, система останавливает печать немедленно. Обязательно отключается источник питания для обеспечения безопасности.

3) Вручную устанавливаются такие параметры работы строительной печати как ускорение, скорость печатающей головки, максимальная скорость работы и так далее. Максимальная возможная скорость системы составляет около 0,5 м / с, а оптимальный диапазон ускорения находится в пределах 0,05 – 0,2 м/.

Конфигурация рабочих органов на электронной панели управления для работы с описываемой строительной установкой трехмерной печати бетоном представлена на рисунке 15.



Рисунок 15 – Конфигурация рабочих органов на электронной панели управления

Обязательно сохраняются координаты крайнего положения в момент остановки. В случае возникновения непредвиденной ситуации, к примеру, сбоя питания, системой контроля сервоприводов немедленно сохраняется текущие координаты положения. После устранения любых неполадок техника сама выставит положение экструдера для продолжения печати.

Таким образом, разработка роботизированной системы для строительной индустрии требует тщательного анализа требований к системе, чтобы обеспечить ее эффективное функционирование и соответствие потребностям рынка.

3.2 Выбор и описание датчиков для 3D-принтера

Датчик температуры – это устройство, которое используется для измерения температуры в окружающей среде. Одним из наиболее распространенных типов датчиков температуры является NTC термистор 100k.

NTC термистор 100k – это термический резистор, который изменяет свое сопротивление в зависимости от температуры окружающей среды. Как правило, чем выше температура, тем ниже сопротивление термистора.

Датчик температуры на основе NTC термистора 100k обычно используется для измерения температуры в диапазоне от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Он может быть использован в различных приложениях, таких как системы отопления и охлаждения, промышленные процессы, автомобильная промышленность и другие.

Для работы с NTC термистором 100k необходимо использовать специальное устройство для измерения сопротивления. Обычно таким устройством является мультиметр или специальный измерительный прибор.

Датчик температуры на основе NTC термистора 100k является надежным и точным устройством для измерения температуры в различных приложениях. Он имеет небольшой размер и может быть легко установлен в нужном месте.

Датчик давления MPXV7002DP – это полупроводниковое устройство, которое используется для измерения давления. Он работает на основе принципа пьезорезистивности, который означает.

MPXV7002DP может измерять давление в диапазоне от 0 до 2 кПа (килопаскаль) и обладает высокой точностью и надежностью. Для работы с датчиком давления MPXV7002DP необходимо подать питание на устройство и подключить его к микроконтроллеру или другому устройству для обработки данных. После этого можно получить показания давления в соответствующих единицах измерения.

Время отклика: 1мс

Датчик положения WSE9-3P2430 – это инкрементальный оптический датчик, который используется для измерения линейного перемещения объекта. Он состоит из оптического датчика и магнитной ленты, которая крепится к движущемуся объекту.

Оптический датчик имеет три фотодиода, которые расположены на определенном расстоянии друг от друга. Когда магнитная лента движется, она создает изменяющееся магнитное поле, которое воздействует на фотодиоды. Фотодиоды регистрируют изменения магнитного поля и генерируют

электрические импульсы, которые затем обрабатываются для определения положения объекта.

Датчик WSE9-3P2430 имеет разрешение 0,1 мм и может измерять перемещение объекта до 3 метров. Он также имеет защиту от вибрации и пыли, что делает его идеальным для использования в промышленных условиях.

Датчик положения в 3D-принтере помогает контролировать положение двигателей и других движущихся элементов, увеличивая точность и производительность системы.

Датчик скорости позиционирования OPCON PRI40 – это оптический датчик, который используется для измерения скорости и позиции движущихся объектов. Он имеет высокую точность и надежность, а также широкий диапазон рабочих температур.

Датчик состоит из оптического датчика и электронной части. Оптический датчик включает в себя светодиод и фотодиод, которые расположены на противоположных сторонах отверстия в датчике. Когда объект проходит через отверстие, свет от светодиода падает на фотодиод, и электронная часть датчика регистрирует это как импульс. Частота импульсов соответствует скорости движения объекта.

Датчик скорости позиционирования OPCON PRI40 может использоваться в различных приложениях, таких как автоматические системы управления движением, робототехника, медицинская техника и другие.

3.3 Алгоритм управления роботом Apis Cor

Apis Cor – это компания, которая разработала пошаговый технологический процесс 3D-печати зданий, который позволяет строить дома из бетона и других материалов быстрее, дешевле и с меньшим ущербом для окружающей среды.

На рисунке 16 показана компоновочная схема.

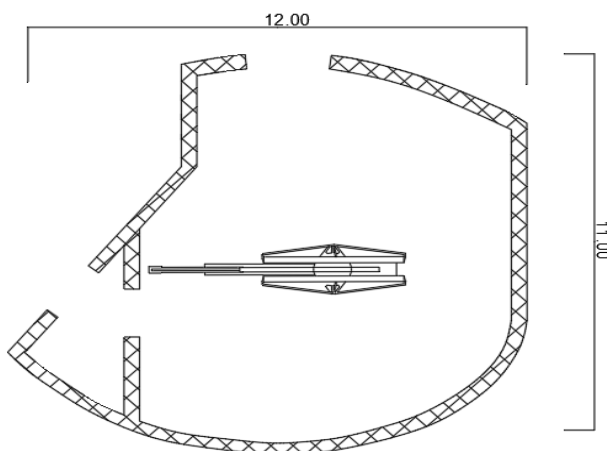


Рисунок 16 – Компоновочная схема

На рисунке 17 показан процесс воссоздания дома.

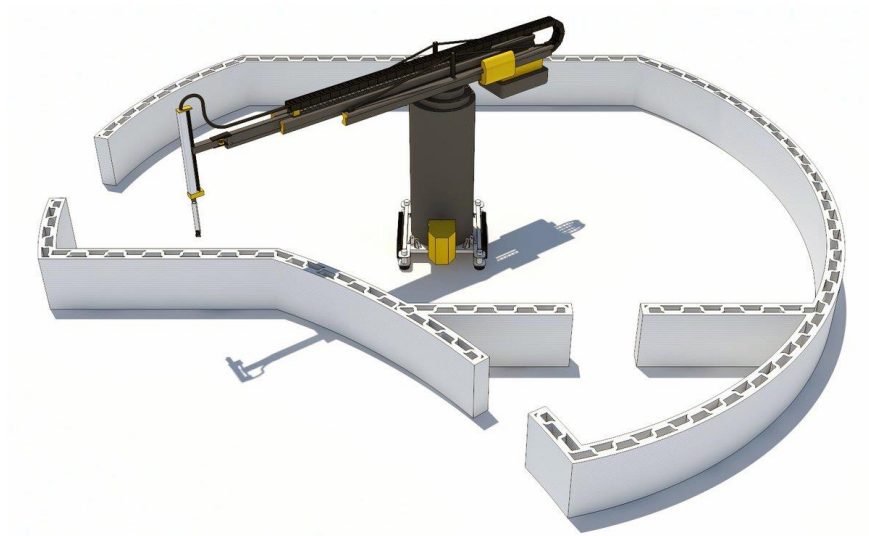


Рисунок 17 – Процесс воссоздания дома

Материал для 3D-печати на основе цемента выдавливается с помощью робота-манипулятора для формирования основы стены, слой за слоем. Арматура, прутья и сетка устанавливаются вручную одновременно с 3D-печатью (рисунок 18).

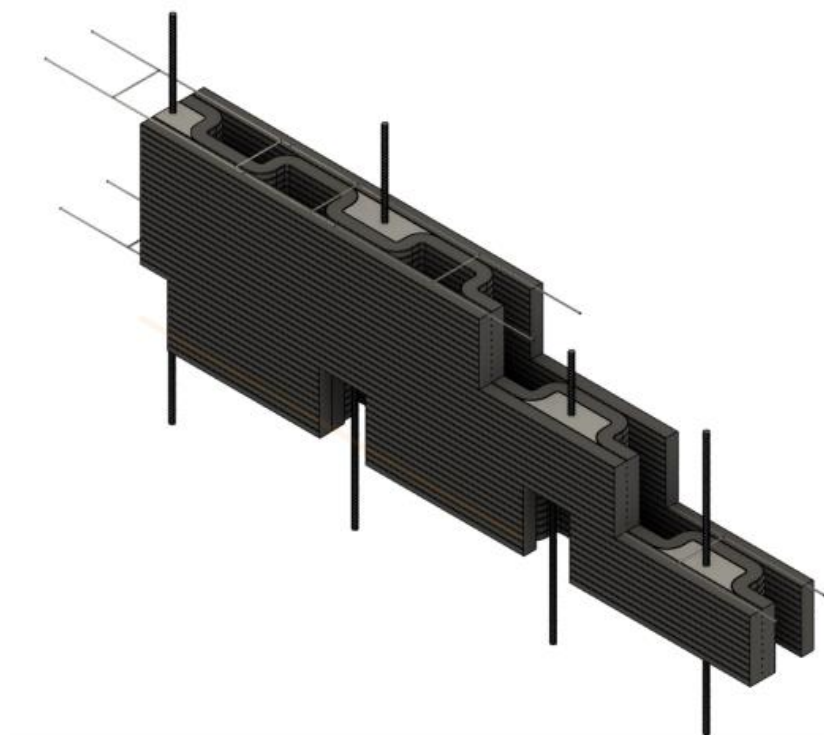


Рисунок 18 – Структура стены воссозданной с помощью 3D-печати

Для строительного 3D-принтера от компании Aris Cor используется специальный бетонный состав, может быть нанесен в слое до 10 мм за одну операцию, который проходит проверку на прочность, устойчивость к внешним воздействиям и длительность эксплуатации. Этот бетон состоит из цемента, песка и воды, а также смеси специальных добавок, которые улучшают его свойства и обеспечивают лучшую адгезию к поверхности. Он быстро схватывается, обладает высокой прочностью и долговечностью, что позволяет использовать его в качестве основного строительного материала при 3D-печати зданий. Этот материал обеспечивает высокую скорость печати.

Размеры настенного сегмента показаны на рисунке 19. Ширина стены составляет 20 см.

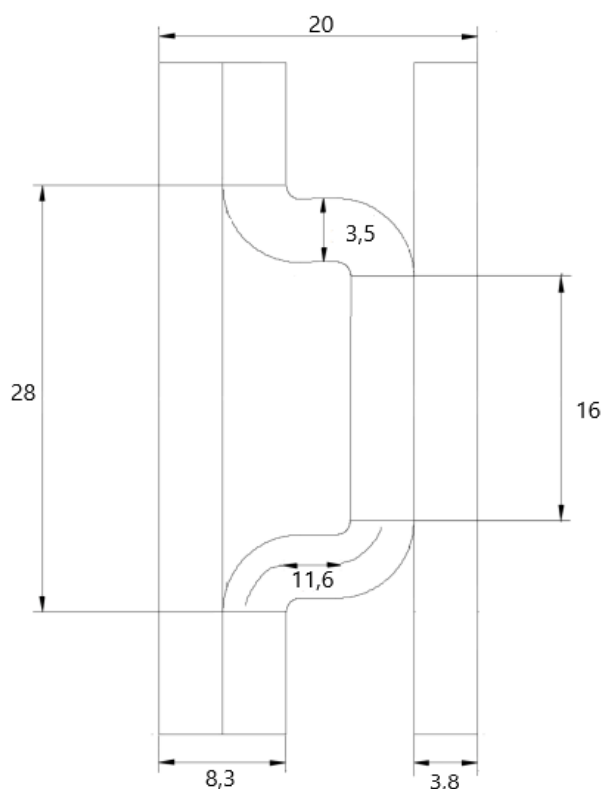


Рисунок 19 – Размеры настенного сегмента

Алгоритмы управления роботом Aris Cor включают в себя следующие шаги:

Подготовка территории: Первый этап – подготовка участка под будущее здание. Здесь нужно удалить растительный слой и создать жесткую площадку для дальнейшего строительства.

Подготовка бетона: Затем необходимо приготовить бетонную смесь. Для этого используется бетономеситель, который получает качественные компоненты бетона для последующей обработки.

Сборка прототипа: После этого начинается сборка конструкции принтера. Aris Cor использует собственную разработку – подъемник-манипулятор,

который позволяет перемещать потоки бетона и точно воспроизводит нужные элементы конструкции.

Нанесение бетона: После готовности принтера начинается процесс нанесения бетона на строительную площадку. Apis Cor имеет множество наиболее успешных проектов, которые говорят о скорости и безупречной точности, с которыми принтер создает трехмерный бетонный образ.

Установка кровли: После создания конструкции начинается процесс установки кровли. В зависимости от проекта настройки могут быть разные. Конструкция и опоры принтера могут подниматься на высоту до 3 метров и строить здания до 10 метров в высоту.

Внутренняя обработка: Затем начинается обработка внутри помещения. На этом этапе проводятся отделочные работы, установка электро и сантехнических систем, установка окон и дверей. Это последний этап создания здания.

3.4 Разработка расчетной схемы

Для разработки 3D-модели строительного принтера требуется провести теоретические исследования, основанные на математических моделях. Математическое моделирование представляет собой процесс изучения свойств объекта с помощью создания и анализа его математической модели. Критерии, которым должны соответствовать модели, включают адекватность, полноту, гибкость и трудоемкость разработки. Для реализации моделирования используется программная среда Matlab-Simulink, которая позволяет моделировать системы во времени, исследовать их характеристики и представлять результаты графически.

Алгебраическое описание процессов и моделирование, которые осуществляются при математическом моделировании, помогают выявить закономерности поведения различных явлений, процессов работы устройств и систем. Это позволяет избавиться от необходимости проведения натуральных исследований. При этом математические законы и положения описывают моделируемые процессы на идеализированном уровне.

Реализация дальнейшего моделирования осуществляется в программной среде Matlab-Simulink.

Для исследования влияния основных параметров на сервопривод трехмерного строительного принтера, с учетом воздействий вибрационных нагрузок используем расчетную модель конструкции 3D принтера, которая представлена на рисунке 20 в виде отдельных блоков и связей.

Исследуемая система представляет собой раму, на которой размещены экструдер; стальной трапециевидный бункер; мотор – который приводит в движение подвижные органы оборудования, фиксаторы – датчики положения, перемещения, температуры и давления; передвижное устройство и сама система управления 3D принтером. Наиболее важными элементами принтера

являются экструдер и бункер. Экструдер 3D принтера – это узел, который обеспечивает подачу рабочей смеси из бункера в рабочую зону аппарата.

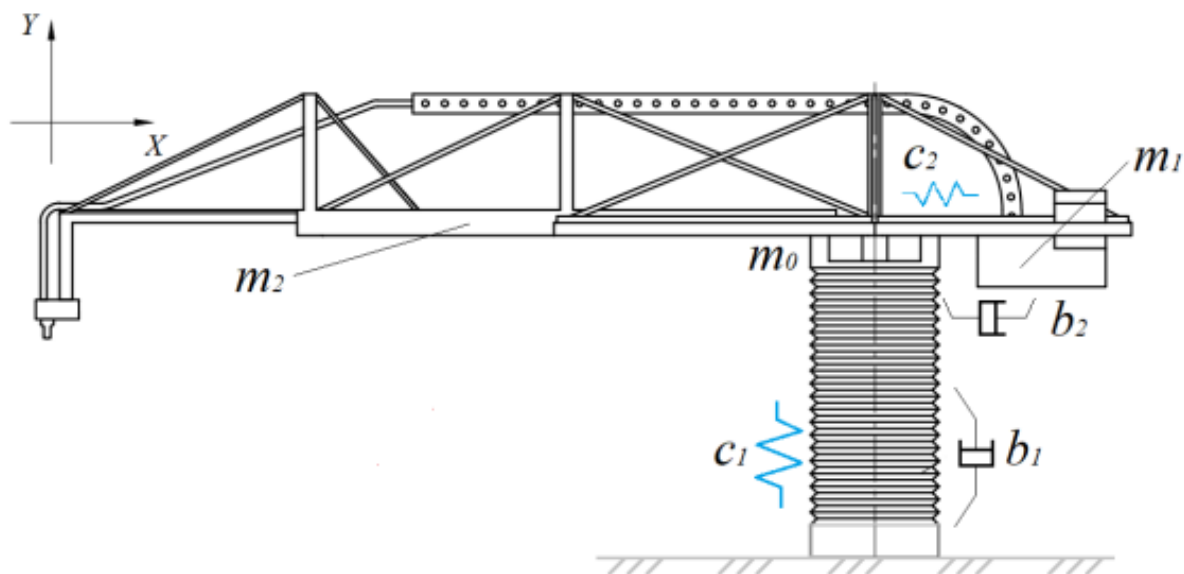


Рисунок 20 – Динамическая модель подвески строительного 3D принтера:
 m_0 – масса системы; m_1 – масса полного бункера; m_2 – масса рамы 3D принтера; x, y – перемещение системы; c_2 – жесткость бункера; c_1 – жесткость амортизирующей опоры; b_1, b_2 – демпферы приводов

Главное преимущество 3D-принтера заключается в его маневренности. Данная машина использует картезианские координаты осей X , Y и Z для перемещения экструдера, которое осуществляется высокоточными электрическими приводами с помощью контроллера. С помощью ограничительных датчиков, которые предотвращают выход за пределы рабочей поверхности, создается диапазон движения приводов, обеспечивающий наращивание конструкций слой за слоем. Эти же приспособления используются для настройки и калибровки положения принтера и его рабочих органов, что обеспечивает высокую точность и аккуратность в процессе печати.

Проектирование аппаратной части системы для роботизированной системы в строительной индустрии является одним из ключевых этапов разработки. Оно включает в себя выбор и оптимизацию аппаратных компонентов, необходимых для реализации функциональных требований к системе.

В первую очередь, необходимо определить тип и конфигурацию робота, который будет использоваться в системе. Это может быть промышленный робот или специализированный робот для 3D-печати зданий. Конфигурация робота также может варьироваться в зависимости от требований к скорости печати, точности и масштабу печати.

Далее, необходимо выбрать и оптимизировать компоненты для подачи материала, такие как экструдеры и насосы, чтобы обеспечить высокую скорость

и точность печати. Также необходимо выбрать и оптимизировать компоненты для контроля качества печати, такие как датчики температуры и давления, чтобы обеспечить стабильность процесса печати.

Кроме того, необходимо учитывать энергопотребление и надежность работы компонентов, чтобы обеспечить эффективное использование системы и минимизировать риски сбоев и поломок.

Важным аспектом является также интеграция аппаратной части системы с программным обеспечением, чтобы обеспечить эффективное управление процессом печати и материалами.

Таким образом, проектирование аппаратной части системы для роботизированной системы в строительной индустрии требует тщательного анализа функциональных требований к системе и выбора оптимальных компонентов, чтобы обеспечить ее эффективное функционирование и соответствие потребностям рынка.

3.5 Математическое описание модели серводвигателя

В приводных системах роботов, достаточно распространены как магнитоэлектрические двигатели, так и модели постоянного тока с независимым возбуждением. Управление данными двигателями реализовано при помощи якорной цепи. Описываются электромеханические и электромагнитные процессы в двигателе постоянного тока с независимым возбуждением следующими уравнениями:

$$u_{я} = R_{я} \left(T_{я} \frac{di_{я}}{dt} + i_{я} \right) + e_{я}, \quad (1)$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_h, \quad (2)$$

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt}, \quad (3)$$

$$e_{я} = k_E \omega_m, \quad (4)$$

$$M = k_m i_{я} \quad (5)$$

где $u_{я}$ – напряжение якоря;

$i_{я}$ – ток якоря;

$e_{я}$ – противоЭДС якоря;

$L_{я}$ – индуктивность якоря;

$R_{я}$ – сопротивление якоря;

$T_{я}$ – электромагнитная постоянная времени якоря;

ω_m – механическая угловая скорость;

M – электромагнитный момент;
 M_h – момент нагрузки;
 θ_m – механический угол поворота вала;
 J – момент инерции ротора;

Коэффициенты k_E, k_m являются конструктивными постоянными.

На основе паспортных и технических данных из справочной документации рассчитываются, входящие в уравнения, параметры двигателя.

Параметры двигателей постоянного тока, малоинерционных с электромагнитным возбуждением, разработанных специально для робототехнических комплексов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры малоинерционных двигателей постоянного тока с электромагнитным возбуждением

| P_H , кВт | $U_{я} = U_B, В$ | $n_H, 1 / \text{мин}$ | $I_{я}, А$ | $R_{я}, Ом$ | $R_B, Ом$ | $J, \text{кгм}^2$ |
|-------------|------------------|-----------------------|------------|-------------|-----------|-------------------|
| 0.12 | 110 | 3000 | 1.53 | 1.48 | 642 | 0.06 |
| 0.2 | 110 | 3000 | 2.46 | 0.762 | 560 | 0.08 |
| 0.25 | 110 | 3000 | 3.05 | 0.945 | 827 | 0.14 |
| 0.37 | 110 | 3000 | 4.40 | 0.546 | 934 | 0.16 |
| 0.45 | 110 | 3000 | 5.60 | 0.585 | 400 | 0.36 |
| 1.00 | 110 | 3000 | 9.96 | 0.561 | 500 | 0.8 |

В таблице 5 использованы следующие обозначения:

$P_H, \text{кВт}$ – номинальная мощность двигателя;

$U_{я}, В$ – номинальное напряжение питания якоря;

$U_B, В$ – номинальное напряжение возбуждения;

$n_H, 1/\text{мин}$ – номинальная скорость вращения якоря;

$I_{я}, А$ – номинальный ток якоря;

$R_{я}, Ом$ – сопротивление обмотки якоря;

$R_B, Ом$ – сопротивление обмотки возбуждения.

Из следующих уравнений рассчитывается индуктивность якоря, конструктивные постоянные номинальный ток возбуждения и номинальный момент двигателя.

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{30P_H}{\pi n_H}, \quad (6)$$

$$I_B = \frac{U_B}{R_B}, \quad (7)$$

$$k_M = \frac{M_H}{I_{Я}}, \quad (8)$$

$$k_E = \frac{30(U_{Я} - R_{Я}I_{Я})}{\pi n_H}, \quad (9)$$

$$L_{Я} \approx \frac{30}{\pi} \times \frac{U_{Я} c_X}{n_H I_{Я}} \quad (10)$$

где $c_X = 0.3 \sim 0.4$ – эмпирический коэффициент

Из полученных значений скоростной части ДПТ выражаем передаточные функции по управляющему и возмущающему воздействиям:

$$W(s) = \frac{\omega_m(s)}{U_{Я}(s)} = \frac{\frac{1}{k_E}}{\frac{T_{Я}}{K_1 K_2 k_E} s^2 + \frac{1}{K_1 K_2 k_E} s + 1}, \quad (11)$$

$$W(s) = \frac{\omega_m(s)}{M_H(s)} = \frac{\frac{(T_{Я}s+1)}{k_E}}{\frac{T_{Я}}{K_1 K_2 k_E} s^2 + \frac{1}{K_1 K_2 k_E} s + 1} \quad (12)$$

В выражениях (11), (12) введены обозначения:

$$K_1 = \frac{1}{R_{Я}}, K_2 = \frac{k_M}{J} \quad (13)$$

Корни характеристического уравнения определяются выражением:

$$s_{1,2} = -\frac{1}{2T_{Я}} \pm \frac{1}{2T_{Я}} \sqrt{(1 - 4T_{Я}K_1K_2k_E)} \quad (14)$$

Корни характеристического уравнения могут быть либо комплексно-сопряженными, либо вещественными, в зависимости от соотношения параметров $T_{Я}K_1K_2$ и k_E . Корни характеристического уравнения являются вещественными при выполнении условия $4T_{Я}K_1K_2k_E \leq 1$, в таком случае передаточная эквивалентная функция двигателя постоянного тока по управляющему воздействию представляется в виде двух, последовательно включенных аperiодических звеньев первого порядка с коэффициентом передачи $\frac{1}{k_E}$ и постоянными T_1, T_2 .

$$W(s) = \frac{x(s)}{u_{Я}(s)} = \frac{\frac{1}{k_E}}{(T_1s+1)(T_2s+1)}, \quad (15)$$

$$\text{где } T_1 = -\frac{1}{s_1};$$

$$T_2 = -\frac{1}{s_2}.$$

Для определения исходных данных, к рассмотрению принят двигатель с мощностью 0.45 кВт. В таблице 6 по выражению выше рассчитаны параметры структурной схемы.

Таблица 6 – Параметры системы электрического привода робота

| $K_1, 1/\text{Ом}$ | $K_2, 1/\text{Амс}^2$ | $k_M, \text{Нм/А}$ | $k_E, \text{Вс}$ | $T_{я}, \text{с}$ | $T_1, \text{с}$ | $T_2, \text{с}$ |
|--------------------|-----------------------|--------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 1.72 | 0.72 | 0.26 | 0.34 | 0.043 | 0.044 | 2.15 |

С применением программы Simulink получена имитационная модель электрического двигателя (рисунок 21).

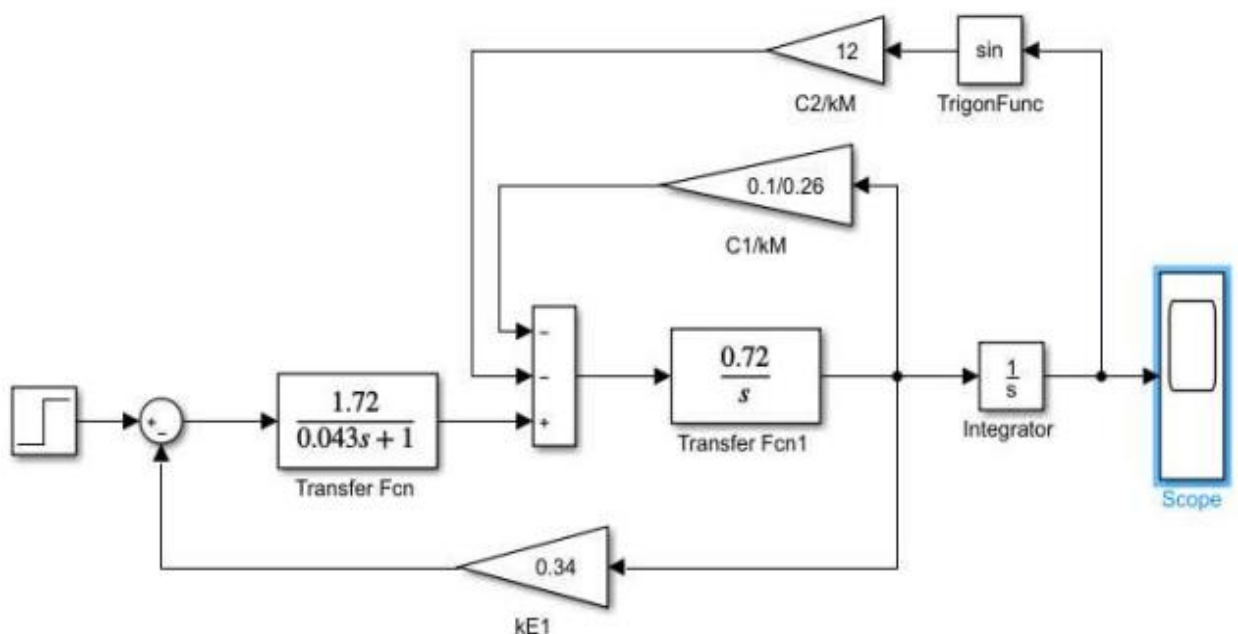


Рисунок 21 – Имитационная модель электрического двигателя

На рисунке 22 приведен график осциллографа имитационной модели электрического двигателя.

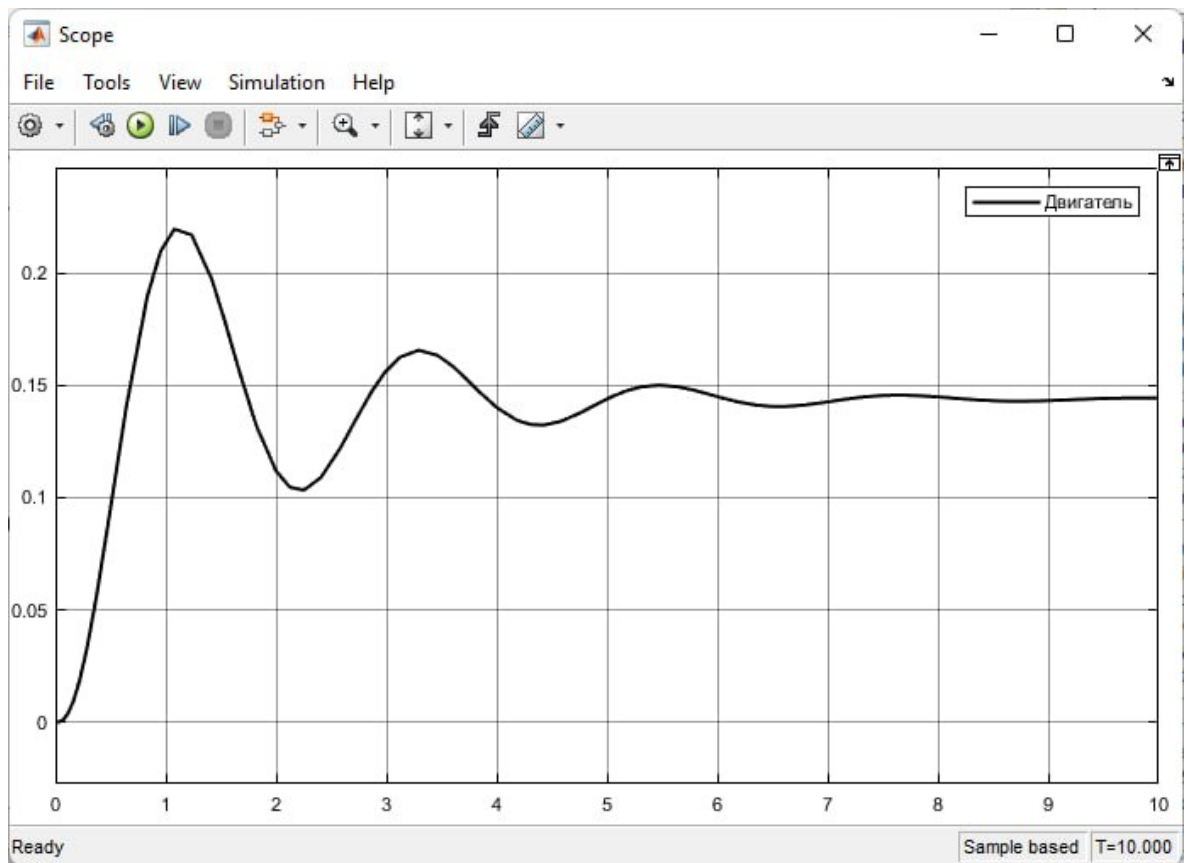


Рисунок 22 – Осциллограмма Simulink модели двигателя

Пакет разрешения Control System программы Simulink применялся для получения динамических характеристик. Динамика по уравнению изображена на рисунке 23.

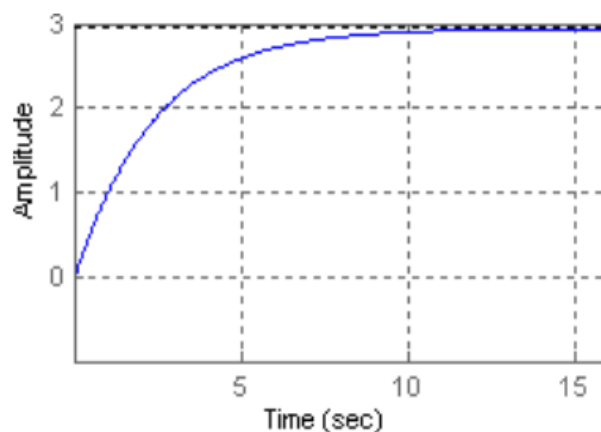


Рисунок 23 – Динамическая характеристика ДПТ по управлению

Задающим входным сигналом стало напряжение 1В, что является эталонным. На рисунке 24 изображена динамическая характеристика по возмущению.

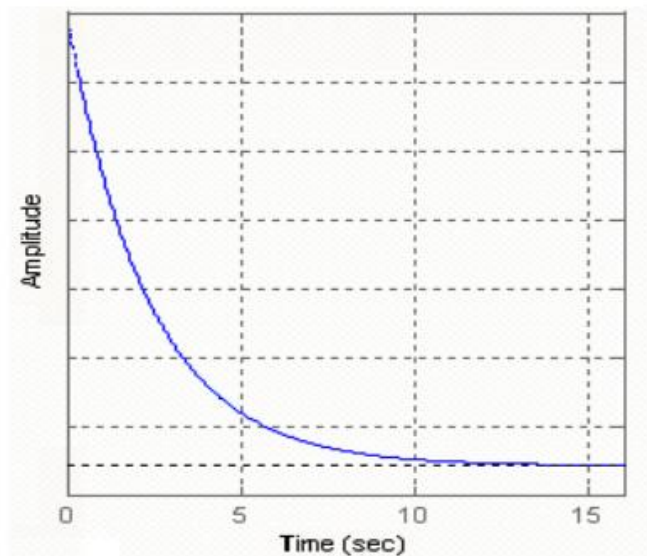


Рисунок 24 – Динамическая характеристика ДПТ по возмущению

Данными графиками наглядно отражается, что по управлению и возмущению ДПТ с данными параметрами системы представляет собой апериодическое звено. Коэффициент передачи по управлению меньше более чем в 2 раза, по сравнению с возмущением.

Для обеспечения системы требуемыми свойствами необходимо спроектировать внедрение или синтезировать регулятор в динамическую систему. Структура регулятора зависит от требований к контуру скорости и параметров двигателя постоянного тока.

Графики с осциллографов системы наглядно демонстрируют ее устойчивость. Понятие устойчивости системы управления связано со способностью системы возвращаться в состояние равновесия после исчезновения внешних сил, которые вывели её из этого состояния. Так как процессы колебательные, затухающие, то система устойчива.

3.6 Экономический эффект 3D печати в строительной индустрии

Одним из основных вопросов, которые стоит учитывать при внедрении данного метода, является его экономическая целесообразность. Для достижения этой цели необходимо провести анализ производства работ с использованием данного метода и более традиционного. Важно отметить, что для объективной оценки необходимо учесть объемы конструкций, их назначение, характеристики и возможные риски при внедрении новой и непривычной технологии. В таблице 7 введены объемно-планировочные показатели возводимого сооружения для сравнения стоимости строительства разными методами.

Таблица 7 – Объемно-планировочные показатели возводимого сооружения

| Наименование показателей | Единицы измерения | Значения |
|----------------------------------|-------------------|----------------------------|
| Объемно-планировочные показатели | | |
| Несущий каркас | | Стены бетонные самонесущие |
| Этажность | эт. | 1 |
| Высота бетонных конструкций | м | 3 |
| Горизонтальные размеры стен | м | 11x12 |
| Толщина несущих стен | мм | 200 |
| Площадь застройки | м ² | 91 |
| Полезная площадь | м ² | 77 |

Принимаем к расчету возведение бетонных несущих стен с высотой 3 метра, длиной 12 метров и шириной 11 метров. В конструкции предусматривается проем входной двери и один оконный проем. При толщине несущих стен 0.2 м, объем двух дверных и оконных проемов составил 1.8 м³.

Так как сейчас у строительной 3D-печати отсутствуют нормативные базы и стандарты, а также не регламентируется ее ценовая политика, то при расчетах используется традиционный подход, который не учитывает некоторые мелкие коэффициенты, такие как коэффициент непредвиденных расходов, если они составляют менее 3% от общей стоимости.

Стоимость традиционного метода строительства для монолитного жилого дома с учетом НДС составляет 6 миллионов 650 тысяч тенге.

В случае со строительными 3D-принтерами требуется рассчитать необходимое время работы принтера для печати данной конструкции. Для начала необходимо разбить конструкцию на горизонтальные слои. Оптимальные параметры слоя ширина 3.8 см, высота слоя 2,5 см. При такой высоте слоя, их количество в конструкции высотой 3 метра составит 120 штук. Особенность печати предусматривает усадку раствора по любым причинам максимальной величиной 2% от высоты конструкции. С учетом усадки, для достижения высотной проектной отметки принтеру может понадобиться еще 2 таких слоя, общее количество их составит 122.

Нормальная скорость реальной печати принимается в промежутке от 100 до 250 мм/с. Принята скорость 150 мм/с, такая величина позволяет отразить среднюю скорость печати конструкции с момента запуска, до момента завершения, с учетом всех технологических пауз, непредвиденных остановок и возможных неисправностей систем.

На возведение конструкции, при заданных параметрах, принтеру необходимо 46 часов. Для его эксплуатации необходим 1 инженер для контроля

печати и систем автоматики, а также квалифицированный бетонщик, для пополнения бункеров и своевременным устройством композитной арматуры и закладных деталей. Для перевозки и установки требуется полуприцеп и небольшой кран. Такой метод позволит возвести конструкцию за неделю при работе в две смены.

Основная стоимость таких работ будет складываться из стоимости материалов, заработной платы рабочих, электроэнергии для работы принтера и транспортировки оборудования. Итоговая стоимость производства работ с учетом НДС составила 3 миллиона 780 тысяч тенге.

Экономическая эффективность определяется процентной величиной разницы двух методов. Разница между стоимостью традиционного возведения и печатью конструкций составила 2 миллиона 870 тысяч тенге. Применение принтера оказалось экономически эффективнее на 39%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы была проведена разработка роботизированной системы для строительной индустрии на основе строительных 3D принтеров. Были изучены существующие на рынке решения, в том числе компания Apis Cor, и проведен анализ их преимуществ и недостатков.

Также был разработан расчет и Simulink-модель строительного 3D принтера, которые позволили определить оптимальные параметры для его работы. Были рассмотрены основные этапы работы принтера, а также проблемы, которые могут возникнуть в процессе его эксплуатации.

В результате работы было установлено, что использование роботизированных систем на основе строительных 3D-принтеров может значительно ускорить и удешевить процесс строительства, а также повысить его качество. Однако, необходимо учитывать технические и экономические ограничения, которые могут возникнуть при использовании таких систем.

Таким образом, разработка роботизированной системы для строительной индустрии на основе строительных 3D-принтеров является актуальной и перспективной задачей, которая может привести к существенным изменениям в отрасли строительства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Аржанников А.О., Емельянов Р.Т., Турышева Е.С. Обработка рабочих параметров строительного 3d-принтера // Молодой ученый. 2018. №22(208). С. 105-108.

2 Абрамян С.Г., Илиев А.Б. Современные строительные аддитивные технологии. Часть 1. // Инженерный вестник Дона. 2018, <http://ivdon.ru/magazine/archive/nly2018/4755>.

3 Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8, № 1. С.90-101.

4 Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Тхань Куй. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 7 (118). С. 863-876.

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

6 Емельянова И.А., Анищенко А.И., Меленцов Н.А., Гордиенко А.Т. Малогабаритное оборудование для транспортирования бетонных смесей и выполнения торкрет-работ // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 87-95.

7 Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера // Известия КГАСУ. 2017. №4(42) С.350-359.

8 Андреев Н.Ю., Прокопьев А.П. Моделирование динамики строительных манипуляторов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2019. Т. 8. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2019. – С. 132-135.

9 Володченко В.С., Ланцова Д.С., Ивлев О.Ю., Метельницкая Т.А., Бышок К.А., Романов Э.В. Технологии будущего в строительстве: 3D-печать // Вопросы науки и образования. 2018.

10 Шаторная А.М., Числова М.М., Дроздецкая М.А., Птухина И.С. Эффективность 3D принтеров в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №9(60). С. 22-30.

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Әбдіхалыков Серікбол Талғатұлы

Название: Разработка роботизированной системы для строительной индустрии

Координатор: Байбатшаев Мухит Шабданович

Коэффициент подобия 1: 1.07

Коэффициент подобия 2: 0.00

Коэффициент цитирование: 0.17

Замена букв: 6

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

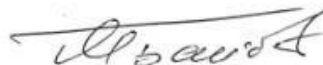
После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 1.07 и Коэффициент подобия 2: 0. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«26» мая 2023 г.

Дата



Подпись Научного руководителя

**Протокол анализа Отчета подобия
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения заявляет, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Әбдіхалықов Серікбол Талғатұлы

Название: Разработка роботизированной системы для строительной индустрии

Координатор: Байбатшаев Мухит Шабданович

Коэффициент подобия 1: 1.07

Коэффициент подобия 2: 0.00

Коэффициент цитирования: 0.17

Замена букв: 6

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 1.07 и Коэффициент подобия 2: 0. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.


« 2 » 06 2023 г.
Дата


Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Дипломный проект допускается к защите.

« 2 » 06 2023 г.
Дата


Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломный проект

Әбдіхалықова Серікбола Талғатұлы

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Тема: «Разработка роботизированной системы для строительной индустрии»

Тема дипломного проекта связана с разработкой роботизированных систем на основе применения средств и систем промышленной робототехники.


В процессе работы над дипломным проектом Әбдіхалықовым С. Т. был проведен анализ технологий роботизации строительной индустрии.

Проведен обзор роботизированных систем, которые применяются в строительстве. Показано, что перспективной технологией при сооружении зданий, сооружений является применение 3D-принтеров. В работе на примере проекта строительного объекта проведено решение практической задачи, разработки роботизированной системы. Все поставленные в дипломном проекте проблемы и задачи выполнены полностью.

В процессе работы Әбдіхалықов С.Т. проявил, что получил необходимые и достаточные теоретические и практические знания и навыки позволившие решить поставленные в дипломном проекте задачи. Считаю, что дипломный проект выполнен на достаточно высоком теоретическом и практическом уровне и полностью соответствует требованиям к дипломному проекту на академическую степень бакалавра и заслуживает оценки «А- 97» баллов, а автор Әбдіхалықов Серікбол Талғатұлы присуждения степени бакалавра по специальности «6B07103 – Автоматизация и роботизация».

Научный руководитель

д.т.н., асеоц. профессор кафедры «Автоматизация и управление»,

 Байбатшаев М.Ш.

(подпись)

« 05 » июня 2023 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента
Әбдіхалықова Серікбола Талғатұлы
6B07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: разработка роботизированной системы для строительной индустрии
Выполнено:
а) пояснительная записка на 47 страницах.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В пояснительной записке, представленной на рецензирование, показана разработка роботизированной системы для строительной индустрии.

В первой главе было приведено полное описание роботизации в строительной индустрии. Также приведены общие характеристики 3D технологии.

Во второй главе был сделан анализ существующих роботизированных систем в строительстве. Проведен сравнительный анализ характеристик строительных 3D-принтеров, после чего было выбрано оптимальный строительный 3D-принтер.

В третьей главе был описан выбранный объект исследования и датчики для 3D-принтера. Разработан алгоритм управления и расчетная схема. Также сделан анализ экономического эффекта 3D печати в строительной индустрии.

Графический и текстовый материал оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ, предъявляемыми к оформлению учебных работ.

Данный дипломный проект отличает проработанность, научно-исследовательский подход и полноту изложенного теоритического материала. Приведенные исследования доказывают отличную теоритическую подготовку дипломанта.

Оценка работы

Считаю, что дипломный проект заслуживает оценки « А », а студент Әбдіхалықов С. Т. присуждения академической степени бакалавра по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация.

Рецензент

Доктор PhD, доцент кафедры «IT-Инжиниринг»

Иманбекова Ұ. Н.
(подпись)
« 6 » июня 2023 г.



Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю
Серікбола Талғатұлы
Қызметі аты-жөні
« 01 » 06 2023 ж.