

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

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



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Робототехники и технических средств автоматизации

Тасмуканова Эвелина Тимуровна

Создание мягкого робота-змеи для перемещения по узким пространствам

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

6B07111 – Робототехника и мехатроника

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

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



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Робототехники и технических средств автоматизации



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТТСА
кандидат технических наук,
профессор
Ожикенов К. А.
«08» 06 2025 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Создание мягкого робота-змеи для перемещения по узким
пространствам»

6В07111 – Робототехника и мехатроника



Выполнила
Рецензент
PhD, ассоциированный профессор
Муратов М. М.
«30» мая 2025 г.

Тасмуканова Э.Т.

Научный руководитель
Магистр технических наук,
старший преподаватель
Байтурганова В.К.
«30» мая 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

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



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Робототехники и технических средств автоматизации

6В07111 – Робототехника и мехатроника



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой РТТСА
кандидат технических наук,
профессор

Ожикенов К. А.

«08» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студенту Тасмухановой Желпе Тимуровне
Тема: Создание физического робота-звена для перемещения по узким пространствам
Утверждена приказом ректора № 521 от «13» ноября 2025 г.
Срок сдачи законченной работы «11» 06 2025 г.
Исходные данные к дипломному проекту: _____
Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:
а) изучить потенциальное применение механизмов роботов
б) разработать прототип робота
в) провести испытания

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены слайды презентации работы

Рекомендуемая основная литература:

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечания
Исследовательская часть	10.03.2025г	40%
Теоретическая часть	12.04.2025г	60%
Практическая часть	13.05.2025г	80%
Итого	30.05.2025г	100%

Подписи
консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Экономическая часть	Байтурганова В.К.	08.06.25	
Охрана труда	Байтурганова В.К.	08.06.25	
Нормконтроллер	Альменков Е.У.	03.06.2025г	

Научный руководитель:  Байтурганова В.К.

Задание принял к исполнению обучающийся:  Тасмуканова Э.Т.

Дата

«05» 06 2025

АНДАТПА

Бұл дипломдық жоба іздеу-құтқару жұмыстарында, сондай-ақ археологиялық және геологиялық зерттеулерде қолдануға арналған жұмсақ, жылан тәрізді роботты жасауға арналған. Роботтың бірқатар негізгі артықшылықтары бар: ол жоғары маневрлі, тар және шектеулі кеңістікте қозғала алады және қоршаған ортамен жұмсақ әрекеттеседі. Бұл сипаттамалар оны әдеттегі жабдықты пайдалану мүмкін емес және адам өміріне үлкен қауіп төндіретін төтенше жағдайларда пайдалы етеді.

Теориялық бөлім тақырыптың маңыздылығын сипаттайды, жұмсақ робототехниканың дамуына қысқаша шолу жасайды және қолданыстағы салыстырмалы технологияларды талқылайды. Негізгі дизайн талаптары анықталды және икемді манипулятор үшін қолайлы материал таңдалды.

Жобаның практикалық бөлігінде аппараттық құрамдас бөліктерді таңдау, роботтың жақтауын әзірлеу, электронды басқару жүйесін құру және роботтың жұмыс істеу принциптерін түсіндіру кіреді. Сондай-ақ, бүкіл жинақтың құнының сметасы кіреді.

Нәтижесінде функционалды прототип құрастырылып, нақтыға жақын жағдайларда сынақтан өтіп, оның мүмкіндіктері көрсетілді. Алынған дизайн қиын және қол жеткізу қиын жағдайларда жұмыс істеу үшін үнемді және практикалық шешімді ұсынады.

АННОТАЦИЯ

Эта дипломная работа посвящена созданию мягкого робота, похожего на змею, предназначенного для использования в поисково-спасательных операциях, а также в археологических и геологических исследованиях. Робот обладает рядом ключевых преимуществ — он обладает высокой маневренностью, способен перемещаться в узких и ограниченных пространствах и мягко взаимодействует с окружающей средой. Эти характеристики делают его особенно полезным в чрезвычайных ситуациях, когда невозможно задействовать обычное оборудование и существует высокий риск для жизни человека.

В теоретическом разделе описывается важность темы, дается краткий обзор развития мягкой робототехники и рассматриваются существующие сопоставимые технологии. Были определены ключевые требования к конструкции и выбран подходящий материал для гибкого манипулятора.

Практическая часть проекта включает в себя выбор аппаратных компонентов, разработку каркаса робота, создание электронной системы управления и объяснение принципов работы робота. Также прилагается смета затрат на всю сборку.

В итоге был собран функциональный прототип, который был протестирован в условиях, приближенных к реальным, и продемонстрированы его возможности. Полученный в результате дизайн представляет собой экономичное и практичное решение для работы в сложных и труднодоступных условиях.

ABSTRACT

This diploma is devoted to the creation of a soft snake-like robot intended for use in search and rescue operations, as well as in archaeological and geological research. The robot has a number of key advantages - it is highly maneuverable, can move in narrow and confined spaces and gently interacts with the environment. These characteristics make it especially useful in emergency situations where it is impossible to use conventional equipment and there is a high risk to human life.

The theoretical section describes the importance of the topic, gives a brief overview of the development of soft robotics and discusses existing comparable technologies. Key design requirements were identified and a suitable material for the flexible manipulator was selected.

The practical part of the project includes the selection of hardware components, the development of the robot frame, the creation of an electronic control system and an explanation of the operating principles of the robot. A cost estimate for the entire assembly is also attached

As a result, a functional prototype was assembled, tested in conditions close to real ones and its capabilities were demonstrated. The resulting design is an economical and practical solution for working in complex and hard-to-reach conditions.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. Мягкие роботы – soft robotics	10
1.1 Исследование эффективности спасательных операций с помощью роботизированных систем	10
1.2 Анализ существующих проектов по поисково-спасательным операциям и роботам для археологических исследований	11
1.3 Специфика мягкой робототехники	16
2. Конструирование мягкого робота	19
2.1 Характеристические особенности робота	19
2.2 Составная часть прототипа мягкого робота	20
2.3 Затраты на прототип	22
2.4 Принцип работы	24
3. Исследование параметров робота-змеи	27
3.1 Проходимость робота в узких пространствах	27
3.2 Грузоподъемность тела робота	29
3.3 Доставка полезной нагрузки	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	34
ГЛОССАРИЙ	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	37

ВВЕДЕНИЕ

В наше время вопросы безопасности и быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации приобретают всё большее значение. Особенно остро стоит проблема работы в труднодоступных и ограниченных пространствах — под завалами, в узких шахтах, туннелях, пещерах и других подобных условиях. В такие места зачастую невозможно попасть человеку, а использование тяжёлой техники или стандартных роботов оказывается либо недопустимым, либо слишком рискованным. Это создаёт серьёзные трудности при спасении людей и проведении исследовательских работ, где любая оплошность может привести к трагичным последствиям или утрате ценных исторических артефактов.

Несмотря на наличие современных разработок в сфере мобильной робототехники, большинство существующих решений страдают рядом недостатков: они плохо передвигаются в стеснённых условиях, имеют повышенную стоимость, трудно обслуживаются и не обладают достаточной гибкостью. Поэтому возникает необходимость в создании компактных, недорогих и простых в обслуживании роботов, способных безопасно и эффективно работать в ограниченном пространстве.

Одно из перспективных направлений — разработка мягких роботов, в особенности в форме змеи. Такая конструкция позволит устройству свободно маневрировать в узких проходах, не оказывая влияние на окружающую среду и не причиняя вреда объектам или пострадавшим. Это открывает широкие возможности для применения в спасательных операциях, археологических работах и других задачах, где требуются аккуратность и высокая проходимость.

Главной целью данной проектной работы является разработка функционального прототипа мягкого робота, напоминающее форму живых пресмыкающихся, который будет гибким, устойчивым, доступным по стоимости, легко ремонтируемым и эффективным при работе в стеснённых условиях. Для реализации этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить потенциал применения мягких роботов в спасательных и исследовательских операциях, а также провести анализ существующих моделей;
2. Разработать конструкцию робота, определить необходимые материалы и электронные компоненты, создать схему принципа работы и собрать рабочий прототип;
3. Провести испытания, чтобы проверить работоспособность и эффективность устройства.

Разработанный робот объединяет в себе важные качества: гибкость, лёгкость, прочность, проходимость и деликатность. Эти характеристики позволяют применять его там, где традиционные роботы бессильны, увеличивая

эффективность и скорость спасательных мероприятий и обеспечивая бережное проведение археологических раскопок.

ГЛАВА 1. МЯГКИЕ РОБОТЫ – SOFT ROBOTICS

1.1 Исследование эффективности спасательных операций с помощью роботизированных систем

Стихийные бедствия и техногенные аварии постоянно создают для спасателей непростые и опасные задачи. Землетрясения, наводнения, обрушение зданий и масштабные аварии на дорогах с каждым годом приводят ко всё большему размаху разрушений. В таких ситуациях спасателям приходится работать в зонах повышенной опасности, где любая ошибка может стоить чьей-то жизни. Особенно тяжело добираться до людей, оказавшихся под завалами или запертыми в ограниченном пространстве – например, в обрушившихся строениях, подземных туннелях или инженерных коммуникациях. [1]

Главная проблема в том, что места чрезвычайных происшествий обычно тесные, освещение слабое, а риск повторного обвала очень высок. Привлечение тяжёлой техники — кранов, бульдозеров и тому подобного — не всегда помогает: порой работа такими машинами лишь усугубляет ситуацию. При этом спасателям приходится подходить очень близко к людям, застрявшим под завалами, что повышает опасность и для них, и для пострадавших. Схожие сложности приходится решать и учёным при археологических раскопках или в пещерах, где нужно действовать крайне бережно, ведь громоздкое оборудование просто не пролезет в узкие коридоры.

Одним из способов справиться с такими трудностями могло бы стать применение мягких роботов. В отличие от обычных жёстких механизмов, эти устройства сделаны из гибких, упругих материалов. Благодаря этому они умеют огибать препятствия, проникать в узкие щели и при этом не разрушать окружающее пространство. Их главное достоинство — полная безопасность для людей, что делает таких роботов особенно полезными в стеснённых и опасных условиях.

Особенный интерес вызывают роботы, созданные по образу змей: их гибкая структура и принцип движения, заимствованный у живых рептилий, позволяют им ползать по рассыпчатым поверхностям, пробираться сквозь завалы и работать там, где колёсные или шагающие машины оказываются бессильны. Благодаря такому строению эти роботы могут вести разведку, передавать видеосигнал, измерять параметры окружающей среды и даже доставлять небольшие грузы — лекарства, датчики или воду — в труднодоступные места. [2]

Мягкие роботы-змеи — это перспективная технология, которая способна кардинально изменить подход к работе в экстремальных условиях. Их использование позволяет сделать как спасательную операцию, так и научные исследования более эффективными, ведь здесь на кону стоит не только время, но и безопасность людей.

1.2 Анализ существующих проектов по поисково-спасательным операциям и роботам для археологических исследований

В последнее время автоматизированные системы играют всё более значимую роль в ликвидации последствий аварий и катастроф, открывая новые горизонты для работы в опасных и затрудненных условиях. Оснащённые современными сенсорами, навигационным оборудованием и средствами связи, эти устройства могут успешно функционировать при ограниченной видимости — например, в задымлённых или запылённых помещениях, а также при аномально высоких температурах и других неблагоприятных условиях. [3]

Основная выгода таких технологий заключается в их способности проникать в разрушенные сооружения и опасные зоны, недоступные для спасателей. Это не только ускоряет поиск людей, оказавшихся в беде, но и, что особенно ценно, минимизирует риск для жизни как пострадавших, так и работников аварийно-спасательных служб. [4]

Особую ценность эти роботизированные помощники представляют при работе после стихийных бедствий — прежде всего, землетрясений, которые способны превращать здания и городские коммуникации в груды развалин. За прошедшее десятилетие гораздо ускорилось развитие специальных технологий, созданных именно для таких чрезвычайных ситуаций.



Рисунок 1. Робот Enryu [11]

Примером такого робота является Tmsuk T-53 Enryu, он был разработан японскими инженерами в 2004 году. Эта разработка обладает крупными

размерами и весом в 6 тонн, что позволяет ему проводить аварийно-восстановительные работы в условиях разрушений. Каждая его конечность обладает грузоподъемностью до 500 килограммов, что позволяет устранять обломки и освобождать людей, застрявших под завалами. Tmsuk T-53 Enryu демонстрирует высокую эффективность в спасательных миссиях, где требуется большая грузоподъемность и маневренность.[5]



Рисунок 2. робот Snakebot [12]

Другим интересным примером является Snakebot — гибкий модульный робот змеевидной формы, который способен беспрепятственно проникать в узкие проходы в разрушенных зданиях и оперативно передавать данные в реальном времени.[6] Робот был создан в стенах лаборатории био-робототехники Университета Карнеги-Меллона - частный университет и исследовательский центр, расположенный в Питтсбурге (штат Пенсильвания, США). Данный робот способен имитировать действия своих реальных прототипов. Ученые считают, что способ передвижения без использования ног и ступней может быть идеальным для использования в труднодоступных местах, например в зданиях, разрушенных землетрясением.



Рисунок 3. Робот Quince [13]

Мобильный робот Quince, созданный учеными из университетов Тиба и Тохоку, доказал свою полезность во время аварии на "Фукусиме-1". Это единственный японский робот, который участвовал в работах на поврежденной атомной станции. Машина умеет передвигаться через сложные завалы, четко передавать видео даже в полной темноте, замерять уровень радиации, определять количество воды и анализировать состояние жидкостей. Благодаря таким возможностям Quince стал незаменимым помощником в местах, где находиться людям смертельно опасно.



Рисунок 4. робот Kōhga 3[14]

Другим примером является разведывательный роботизированный комплекс КОНГА 3, который активно использовался на территории АЭС «Фукусима» для обследования поврежденных конструкций. Этот робот преодолевает препятствия, используя трехкамерную систему наблюдения, манипуляторное устройство для расчистки мусора и комплекс датчиков для мониторинга радиационного фона и газовой среды, которые передают данные в реальном времени. Он обеспечил важную информацию о ситуации в здании, помогая спасательным службам принимать более точные решения.

Похожие трудности встречаются и в археологических экспедициях или исследовании пещер. Современные археологи и геологи регулярно оказываются в ситуациях, где рабочее пространство ограничено, а также где требуется высокая точность и осторожность. В таких условиях важные находки часто скрыты в местах, куда невозможно проникнуть с помощью громоздкой техники или даже обычных роботов. Например, при исследовании древних погребальных комплексов или пещерных систем. Ярким примером таких исследований является работа с Великой пирамидой Хеопса — крупнейшим сооружением Египта и сохранностью как единственного античного чуда света.

Построенная между 2850 и 2680 годами до н. э., пирамида является захоронением фараона и имеет возраст около 4600 лет. Несмотря на многочисленные исследования, проведенные учеными и путешественниками, начиная с эпохи Геродота, пирамида имеет многочисленные неисследованные ходы и помещения.

Одним из ключевых направлений исследований стали вентиляционные шахты (сечение около 20*20 см) пирамиды, которые слишком узкие для человека, но, возможно, ведут в неизведанные части комплекса. В связи с этим, трижды проводились роботизированные экспедиции в гробницу Хеопса под руководством египетского археолога Заки Хавасса, с целью исследовать эти сложные системы внутренних коммуникаций.

Первый запуск робота был осуществлен в 1993 году. Обследование началось вдоль южного вентиляционного канала пирамиды и далее обнаружило неизвестное раннее помещение, то есть небольшую комнату с каменной дверцей. Эта дверь была необычной, так как в ней были металлические петли — элемент, который ранее не находили в египетских захоронениях. Однако из-за ограничения для дальнейшего продвижения в виде закрытой двери, исследование пришлось приостановить.[7]

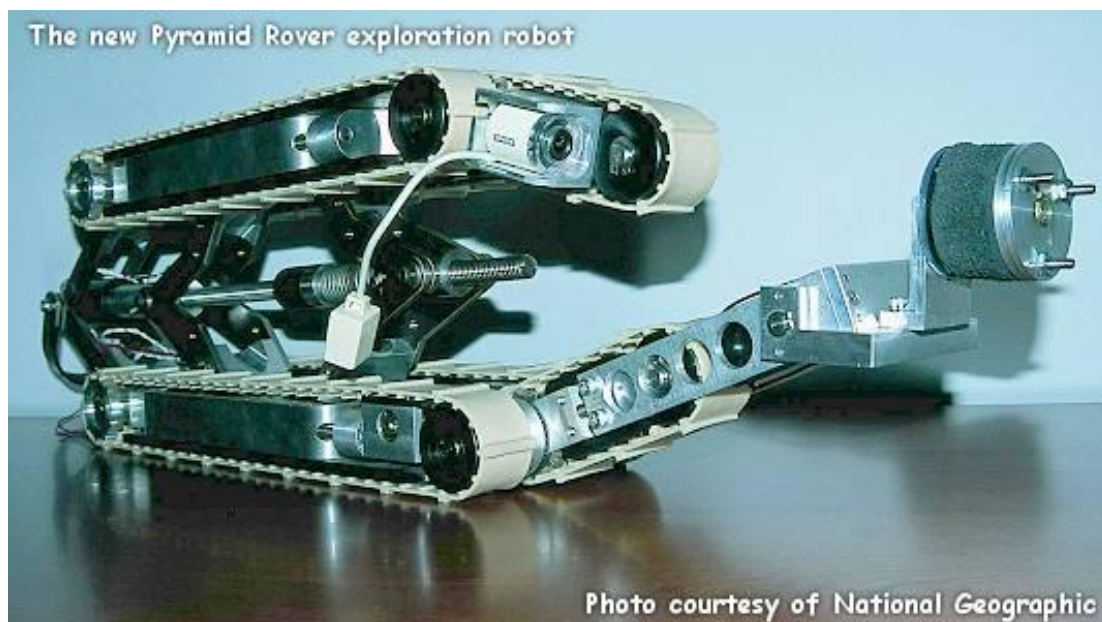


Рисунок 5. робот Pyramid Rover [15]

В ходе второй исследовательской миссии в 2002 году был применен более усовершенствованный робот Pyramid Rover с бурильной установкой и системой наблюдения. Он успешно достиг каменной двери, просверлил отверстие, тем самым открыв доступ к новой комнате с ещё одной дверью, аналогичной предыдущей.

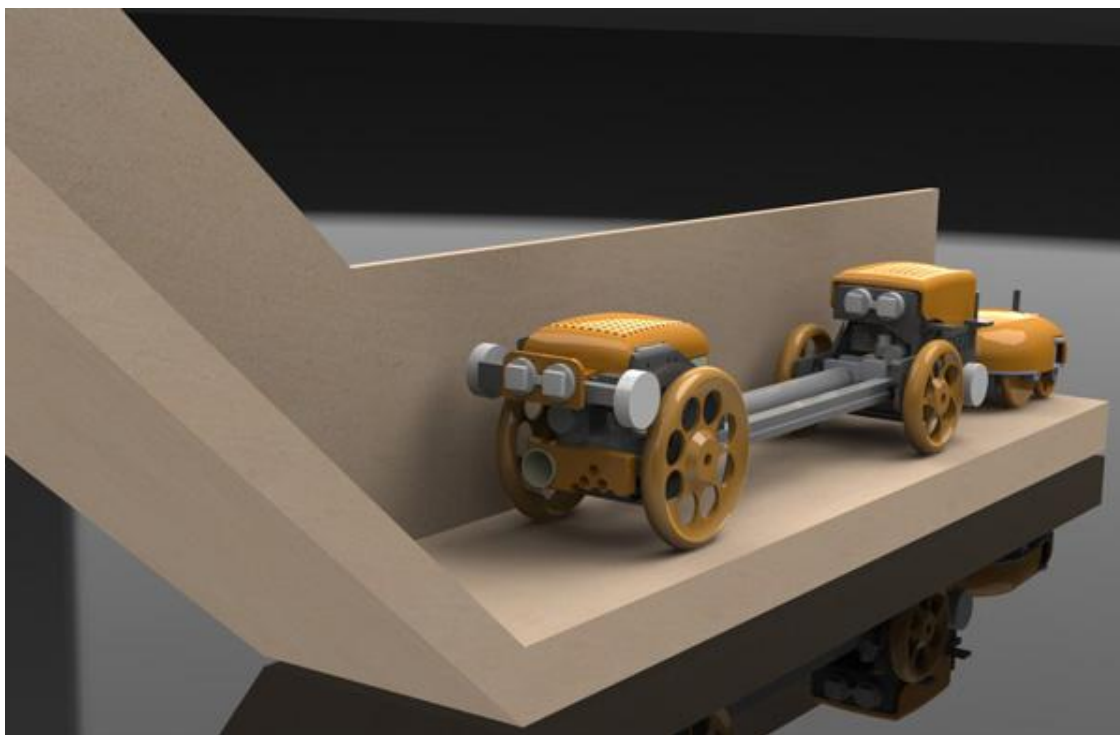


Рисунок 6. 3D модель робота Djedi [16]

В 2009 году был направлен инновационный робот Djedi, оснащённый гибкой эндоскопической камерой, ультразвуковым сканером, уклономером и миниатюрным разведывательным роботом-жуком, способным проходить через отверстия размером всего 20x20 мм. Djedi преодолел наклонный канал, используя адаптивную систему сцепления со стенами, и достиг раннее пробуренную перегородку. Он показал, что за дверью скрыта ещё одна комната, на полу которой были загадочные красные метки, а на внутренней стороне двери видна металлическая фурнитура.

Хотя проникнуть за вторую дверь пока не удалось, сканеры Djedi продемонстрировали наличие еще одного помещения за ней. На данный момент роль этих туннелей и перегородок дверями остаётся неясной. Одной из гипотез является, что они могли быть воздуховодами или символизировать сакральный «путь души» в загробный мир. Красные иероглифы на полу пока не расшифрованы, но учёные предполагают, что это пометки, оставленные древними строителями пирамиды.[8]

1.3 Специфика мягкой робототехники

Мягкая робототехника (soft robotics) — это быстро развивающееся направление в современной робототехнике, специализирующееся на создании, проектировании, разработке и применении роботизированных комплексов, основанных на использовании мягких, гибких и эластичных материалов. В отличие от традиционных жёстких конструкций, мягкие роботы имеют

способность контролируемо деформироваться, адаптироваться к сложностям поверхности, безопасно взаимодействовать с хрупкими объектами и живыми организмами, что делает их особенно эффективными в условиях ограниченного пространства, нестабильной среды или при контакте с человеком.

Основной задачей мягкой робототехники является воспроизведение естественных механизмов движения живых организмов (бионика) с целью повышения мобильности, устойчивости и создания адаптивных систем в непредсказуемых условиях. Такие системы обычно изготавливаются из эластомеров, силиконов, гидрогелей, полимеров с эффектом памяти формы и других материалов, способных к многочисленным деформациям без потери структуры.

Мягкие роботы могут приводиться в движение с использованием пневматических, гидравлических, магнитных или электрически управляемых актуаторов, а также инновационных технологий, таких как интеллектуальные материалы (smart-material). Благодаря своей уникальной гибкости мягкие роботы применяются в биомедицинских устройствах (например, в хирургии и протезировании), в системах промышленной автоматизации, в роботах для мониторинга окружающей среды и в поисково-спасательных операциях.[9]

Таким образом, современная мягкая робототехника представляет собой синтез передовых научных и инженерных решений, объединяющую знания из материаловедения, механики, биологии, кибернетики и искусственного интеллекта, и играет ключевую роль в формировании нового поколения безопасных, адаптивных и интеллектуальных роботизированных систем.

Для полноты картины истории развития мягких роботов, составлена таблица 1.

Таблица 1. Дорожная карта развития мягкой робототехники

Период	События и достижения
1950–1980-е	– Развитие классической жёсткой робототехники. – Исследования гибких материалов в других отраслях (медицина, биомеханика).
1990–2000-е	– Появление первых гибких приводов. – Использование силиконов и полимеров. – Эксперименты с искусственными мышцами.
2010–2015	– Формирование термина "soft robotics". – Появление специализированных

	журналов и конференций. – Создание мягких захватов.
2016–2025	– Мягкий робот Octobot (Гарвард). Рисунок а – Появление мягких сенсоров и 3D печати. – Развитие прикладных применений (медицина, логистика).

Мягкая робототехника превратилась из концепции в технологию, способную решать задачи, недоступные классическим жёстким системам. Её дальнейшее развитие будет определяться междисциплинарными подходами, удешевлением производства и расширением областей применения — от повседневной жизни до освоения новых пространств за пределами Земли.

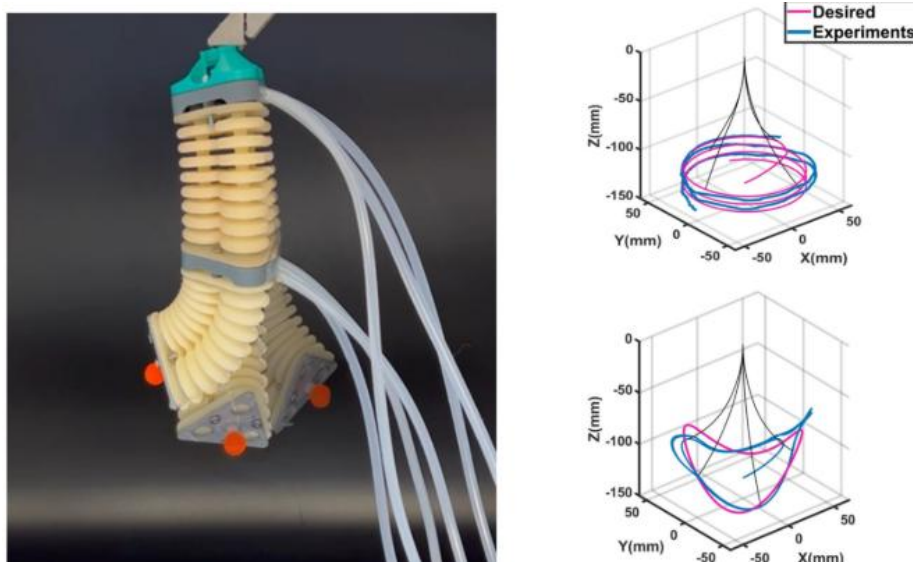


Рисунок 7. Пример многосегментного мягкого робота [17]

Экспериментальные результаты отслеживания для многосегментного мягкого робота. Слева для экспериментов используется двухсегментный мягкий робот, напечатанный на 3D-принтере. Каждый сегмент мягкого робота имеет три сильфона. Красный маркер используется для отслеживания траектории конечного эффектора робота. Робот установлен в направлении $-Z$ для компенсации силы тяжести. Справа показаны экспериментальные результаты для желаемой спиральной траектории и седловой траектории. Черные линии показывают форму робота в симуляциях (на изображении наложены четыре позиции). Розовые траектории показывают желаемую траекторию, а синие траектории показывают траекторию, по которой движется робот (дополнительный материал). [10]

ГЛАВА 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ МЯГКОГО РОБОТА

2.1. Характеристические особенности робота

При конструировании прототипа мягкого робота-змеи именно для поисково-спасательных операций и археологических раскопок были учтены ключевые факторы, влияющие на его работу, безопасность и эффективность в затрудненных условиях.

Во-первых, главной целью было то, чтобы придать конструкции мягкость. Использование гибких материалов помогает исключить травмы людей там, где функционирует робот, особенно в зонах завалов. Мягкий корпус снижает вероятность дополнительных повреждений пострадавших и минимизирует риск вторичного обрушения нестабильных конструкций. Также мягкость важна при работе с хрупкими археологическими находками, чтобы не повредить их в ходе исследований.

Во-вторых, специально были приняты во внимание габариты робота. Он должен быть достаточно компактным, чтобы проникать в узкие пространства — например между обломками зданий, в пещерах или тоннелях. Кроме того, важна высокая проходимость, поскольку на завалах и при раскопках встречаются различные препятствия: песок, грязь, обломки, неровности и вязкие поверхности. Поэтому было решено сделать робота с мягким сегментированным телом, напоминающим живых пресмыкающихся (змей).

В-третьих, особое внимание уделили гибкости конструкции. Умение изгибаться под разными углами позволяет роботу добираться до труднодоступных зон, например под завалы или в узкие щели. За основу движения взяли биомеханику змей — это способствует эффективному огибанию препятствий и адаптации к неровностям рельефа.

В-четвёртых, малый вес робота — еще один важный параметр. Небольшая масса облегчает быструю транспортировку и развёртывание устройства, а также снижает нагрузку на нестабильные завалы. Использование пневматических компонентов дополнительно уменьшает вес конструкции, сохраняя при этом необходимую функциональность и гибкость.

В-пятых, проект предусматривает ремонтпригодность. Модульная конструкция из отдельных секций даёт возможность оперативно заменить повреждения, не разбирая весь робот. Это особенно актуально при длительных операциях, когда оборудование работает круглосуточно и простои должны быть минимальными.

В-шестых, повышенное внимание уделили низкой стоимости и простоте изготовления. Для масштабных спасательных миссий требуется множество идентичных роботов, которые можно использовать одновременно. Возможность создавать десятки или сотни недорогих, но эффективных роботов значительно повышает результативность поисковых работ.

Таким образом, при разработке робота были учтены все ключевые параметры, обеспечивающие его надёжную работу в экстремальных условиях, выполнение задач и эффективную экономическую целесообразность массового применения.

2.2 Составная часть прототипа мягкого робота

При разработке прототипа робота-змеи использовались нижеперечисленные составляющие:

1. Arduino Nano;
2. Драйвер двигателя L298N;
3. Макетная плата;
4. Мотор-редуктор;
5. Блок питания;
6. Компрессор;
7. Рукав полиэтиленовый;
8. Тройник и муфта сантехническая;
9. Веревка;
10. Подшипники;
11. Пневмо-распределитель.

Микроконтроллер

В качестве основной управляющей единицы макетного робота был использован Arduino Nano — компактный и универсальный микроконтроллер, который основан на чипе ATmega328. Данная модель микроконтроллера была выбрана за свою простоту интеграции в проекты и широкую распространённость среди разработчиков прототипов. Он обеспечивает приём данных с сенсоров и формирование управляющих сигналов, в частности — для регулировки подачи воздуха в тело робота. Однако, учитывая ограниченное количество цифровых входов/выходов в данной плате, было принято решение использовать дополнительную макетную плату, которая позволила подключить все необходимые компоненты системы.

Корпус

Тело робота формируется с применением доступных и широко распространённых материалов, что обеспечивает его универсальность и экономичность. В качестве основы корпуса были выбраны сантехнические тройники и муфты диаметром 150 мм. Эти элементы обладают подходящей формой для размещения катушки с рукавом, а также достаточной герметичностью, позволяющей удерживать давление, создаваемое в системе при подаче воздуха. Таким образом, сантехнические элементы выполняют как конструктивную, так и функциональную роль.

Подбор материала

Основным телом робота является рукав, выполненный из ткани Оксфорд 240D PU. Данный выбор основывался на результатах предварительных экспериментальных испытаний, в ходе которых сравнивались разные материалы:

ткань, пропитанная полиэстером, и полиэтиленовая плёнка. Плёнка оказалась наиболее хрупкой, менее устойчивой к перепадам температур и не поддавалась локальному ремонту при повреждениях — в случае разрыва требовалась полная замена. Кроме того, ткань Оксфорд вполне доступна на рынке и экономически выгодна, что важно для массового производства. В отличие от других материалов, ткань Оксфорд продемонстрировала ряд следующих преимуществ:

1. Повышенная прочность и износостойкость. Материал выдерживает механические нагрузки и многократные циклы работы, включая скручивание, сжатие и растяжение, без потери своего качества.
2. Небольшой вес при высокой плотности. Это помогает снизить общий вес робота, сохраняя его функциональность и повышая мобильность.
3. Водонепроницаемость. Оксфорд обладает отличными водоотталкивающими свойствами, что позволяет применять робота во влажных условиях, в том числе в дождливую погоду или в затопленных зонах.
4. Устойчивость к экстремальным температурам. Ткань сохраняет свои свойства в диапазоне от -40 до $+100$ °C, что делает возможным работу в условиях резких климатических колебаний, включая пожары и холода.
5. Разнообразие цветовой палитры. Возможность окрашивания в различные цвета делает робота более заметным в зоне работы, облегчая контроль за его передвижением.
6. Простота ухода. Загрязнения легко удаляются сухой или влажной чисткой, что упрощает обслуживание.
7. Доступная цена. Низкая стоимость материала делает его оптимальным для массового производства роботов.
8. Мягкая текстура. При прикосновении ткань не вызывает дискомфорта и минимизирует риск повреждения хрупких объектов.
9. Возможность ремонта. Повреждения можно исправить, нанеся двухкомпонентный герметик на место разрыва и дождавшись его полимеризации.

Драйвер двигателя

В нашей системе именно для управления электродвигателями применяется драйвер L298N; благодаря двум встроенным H-мостам он может одновременно приводить в действие два мотора. Драйвер поддерживает широкий диапазон входного напряжения и обладает высокой мощностью. Также у него есть встроенная защита от перегрева, что очень важно при интенсивной работе в тяжёлых условиях.

Мотор-редуктор

Одной из важных механических частей робота является мотор-редуктор, который предназначен для намотки и сматывания верёвки и тела робота (ткани) на катушку. Мотор выбрали за его высокую компактность, надёжность и простоту

подключения. Мотор-редуктор имеет способность выдавать большой крутящий момент при низких оборотах благодаря значительному передаточному числу, что отлично подходит для интенсивной работы с различными тяжелыми грузами и крупногабаритными элементами конструкции.

Компрессор

Для того, чтобы привести робота в движение используется воздушный компрессор, который обеспечивает подачу воздуха под давлением в само тело конструкции. Давление от 1 атмосферы и выше позволяет выполнять сгибание и разворачивание секций робота, имитируя движение змеи. Такой способ движения делает систему максимально гибкой и адаптированной к различным условиям.

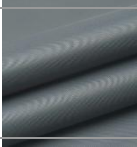
Пневмо-распределитель

В системе предусмотрен пневматический распределитель, который выполняет функцию регуляции подачи и сброса давления. Это позволяет точно контролировать движение робота, направлять воздух в необходимые участки и оперативно разгерметизировать систему при необходимости.

2.3 Затраты на прототип

Выбранные компоненты для макета робота были куплены по доступным ценам в городе Алматы. Выбор был обусловлен широкой доступностью, легкостью обработки, взаимозаменяемостью и ремонтпригодностью.

Таблица 2. Смета на реализацию проекта.

Компоненты	Название моделей макета	Цены	Ссылка	Фотография
Микроконтроллер	Arduino Nano	1700 тг	https://kaspi.kz/shop/102909270/?c=75000000	
Модуль управления	Драйвер двигателя L298N	600 тг	https://aliexpress.ru/item/1005008123620829.html?sku_id=12000044096012738&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.1c9a23bezyNLas	
Ткань	Оксфорд	5000 тг	https://kaspi.kz/shop/1tkan-oksford-soty-dlina-100-sm-	

			bezhevyi-haki-115607717/?c=75000000	
Тройник канализ.	150 тройник	3000 тг	https://kaspi.kz/shop/soedinitel-vozduhovodov-era-15tp-150-mm-106054301/?c=75000000	
Муфта сантех.	Муфта 150	2500 тг	https://kaspi.kz/shop/deniz-mufta-polipropilen-150-mm-132337546/?c=75000000	
Заглушка	Заглушка 150	1600 тг	https://valles.ru/product/zaglushka_pvh_160_p_ryjaya/?ELEMENT_CODE=zaglushka_pvh_160_p_ryjaya/	
Переходник сантех.	Переходник 150/75	1000 тг	https://www.ebay.com/itm/192815845834?u=RU	
Подшипники		1000 тг	https://kaspi.kz/shop/podshipnik-kachenija-radial-nyi-51104--120234578/?c=75000000	
Блок питания	5В, 1А	13000тг	https://www.chipdip.kz/product/gs06e-1p1j	
Провода	Соединительные провода 1р, м-м, р-п	200 тг (1 шт)	https://market.yandex.ru/search?text=провод%20макетные%20платы&hid=7076558&hid=91698&hid=910748	

			s=eJwzcgtgrGLlOPd1PfMnRiUOBoGFh1gGBRAfIVNZ1gVDh1n1QBxNIAcDSDnL22qaV2vUw9d9jtpzK1X21W8EEkgcA2_wd%2C%2C&rt=9	
Пневмораспределитель 5/2		15000тг	https://promkz.com/p/5230707-ruchnoj-kranovyj-pnevмораспределител.html?yclid=814489533011657727	
Компрессор воздушный		125000 тг	https://kaspi.kz/shop/kompressor-bezmasljanyi-airline-kk-04-1-bar-133975484/?c=75000000	
Мотор	мотор-редуктор	4500тг	https://radiomart.kz/p/stoyannogo-toka-dc/7095-motor-s-reduktorom-jgb37-520-12b-1810-12-obmin-8501310000.html	
Итого		173 900тг		

На основе выше предоставленной таблицы можно подумать, что инвестиции в составляющие макета являются оправданными и умеренными учитывая, что это экспериментальный прототип. Сумма затрат на комплектующие могла бы быть меньше, но в данном случае качество этих компонентов бы уменьшилась, что гораздо снизило бы качество и долговечность работа.

2.4 Принцип работы

Принцип работы мягкого пневматического робота змеи, представленного на рисунке 8, основан на воздействии сжатого воздуха. Давлением, что составляет 2 атмосферы, создаваемым компрессором, устройство для сжатия воздуха под давлением и дальнейшей его подачи в инструменты, которые работают от пневмоприводов, идет подача воздуха в корпус, через

пневматический распределитель. В корпусе, являющей воздушной камерой, находится плотно завернутая в катушку, трубчатое тело робота. Трубчатое тело робота, раскрывается из-за избыточного давления в воздушной камере, корпуса робота.

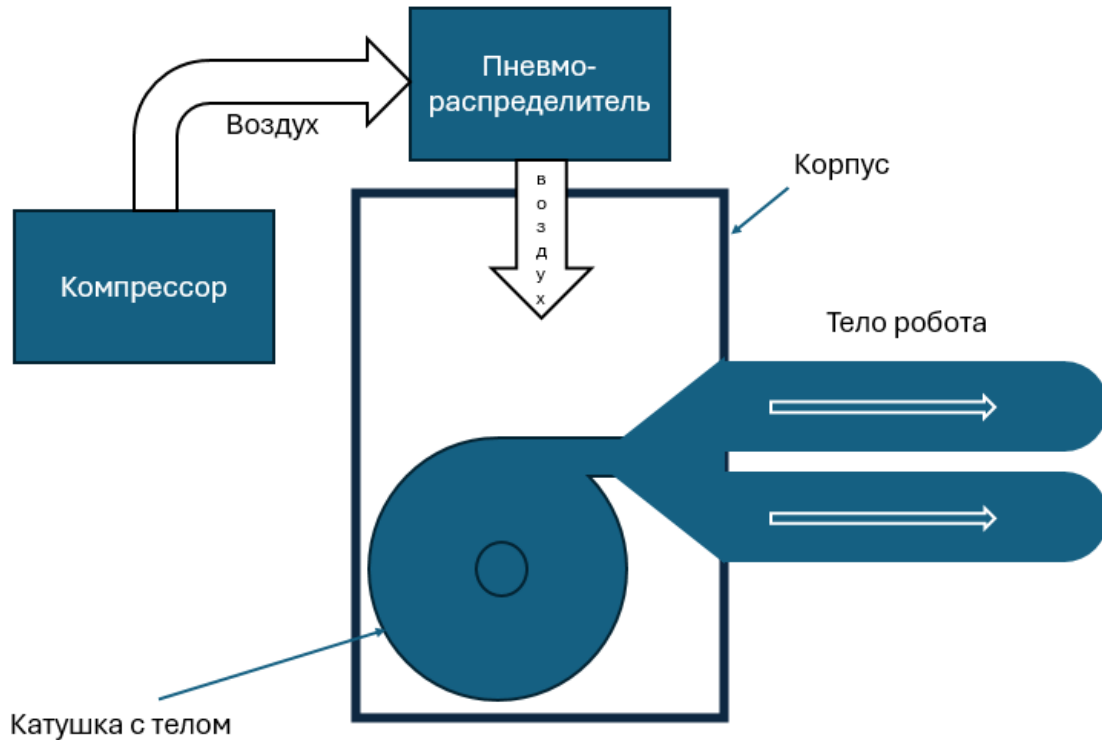


Рисунок 8. Мнемосхема мягкого робота

Робот состоит из двух систем, первая электрическая, вторая пневматическая. В электрической системе источником питания является сетевое напряжение в 220В, компрессор питается напрямую с розетки с данной сети. Чтобы обеспечить питанием микроконтроллер, в нашем случае, Arduino Nano, необходим блок питания. Питание Arduino Nano составляет 5В. Блок питания нужно AC/DC, с переменного тока в постоянный ток. Нужно понизить 220В и выпрямить до 5В. Для питания электромотора используем другой блок питания, AC/DC, 12В на выходе и 5А. Подключаем питание на драйвер L298N, пины управления подключаем к Arduino Nano, выходы на мотор.

Пневматическая система состоит из компрессора, пневматического распределителя, и тело робота. Воздух под давлением, что создает компрессор, поступает через пневматический распределитель в корпус робота, воздушную камеру. Оттуда в системе из-за избытка давления, воздух «толкает» тело робота, то в свою очередь начинает перемещаться.

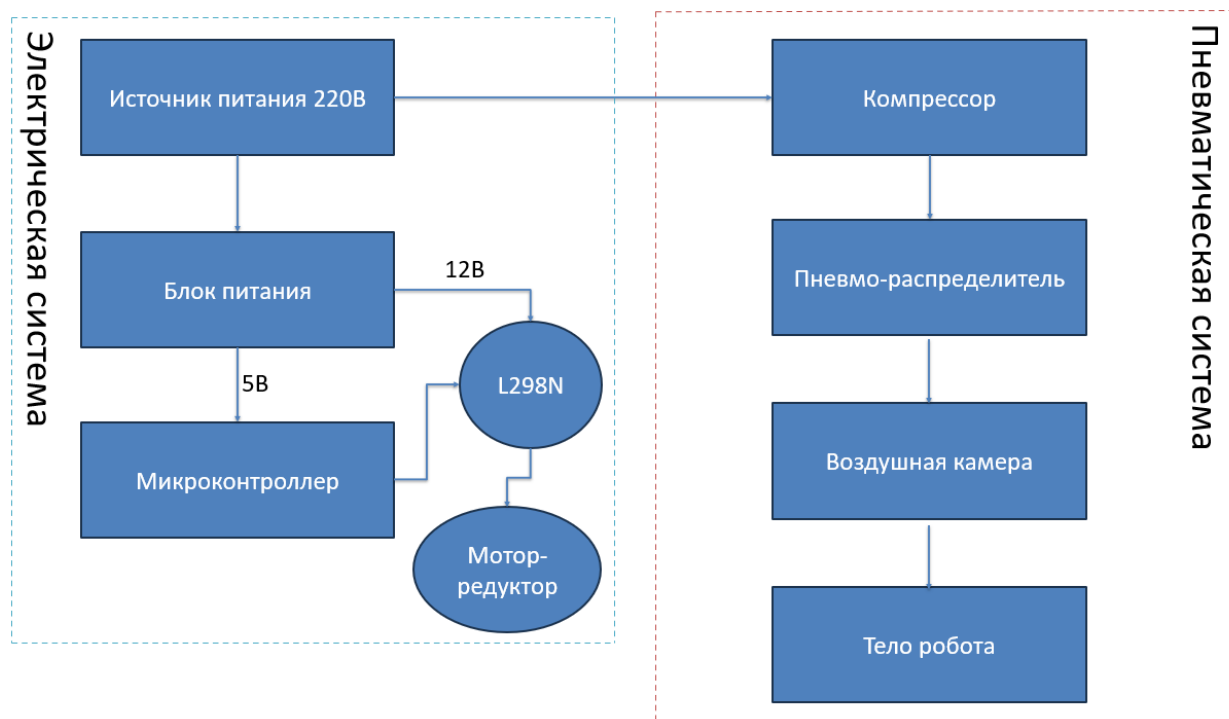


Рисунок 9. Функциональная схема систем робота.

Так же была нарисована пневматическая принципиальная схема работы робота в программе FluidSim разработанной компанией «Festo Didactic». Рисунок 10. Задача программы, конструирования схем гидропривода и пневматики с ручным, электрическим и электронным управлением. На рисунке изображена нагрузка (тело робота) как односторонний пневмо-цилиндр, к нему подключен электронный клапан, открывающийся через реле. Реле в свою очередь, замыкается через кнопку в электрической схеме (справа). На изображении, показана два состояния положения работы пневмо-цилиндра. Слева в открытом положении, справа в закрытом положении.

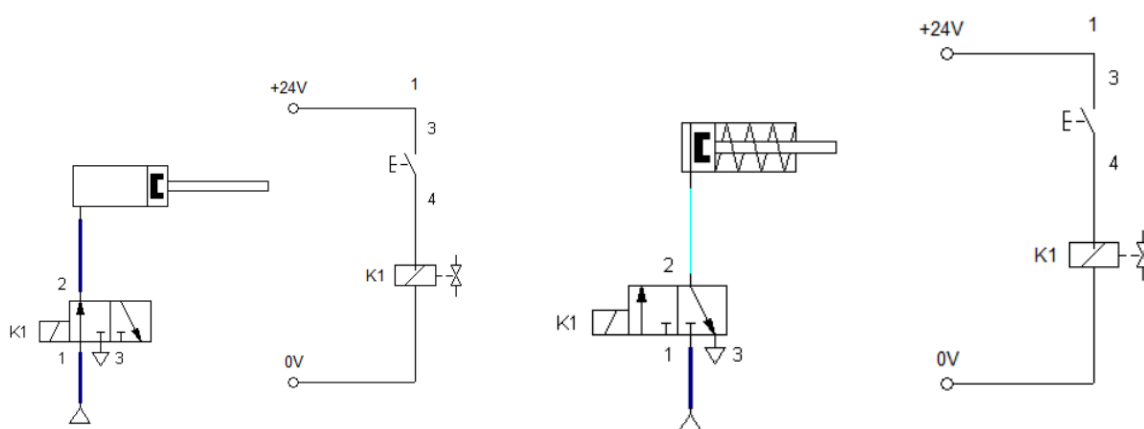


Рисунок 10. Пневматическая принципиальная схема робота

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОБОТА-ЗМЕИ

3.1 Проходимость робота в узких пространствах

Целью раздела является анализ проходимости мягкого робота змеи в различных условиях — через узкие, извилистые пространства. Исследуется способность робота двигаться, огибать препятствия и сохранять устойчивость формы при взаимодействии со средой.

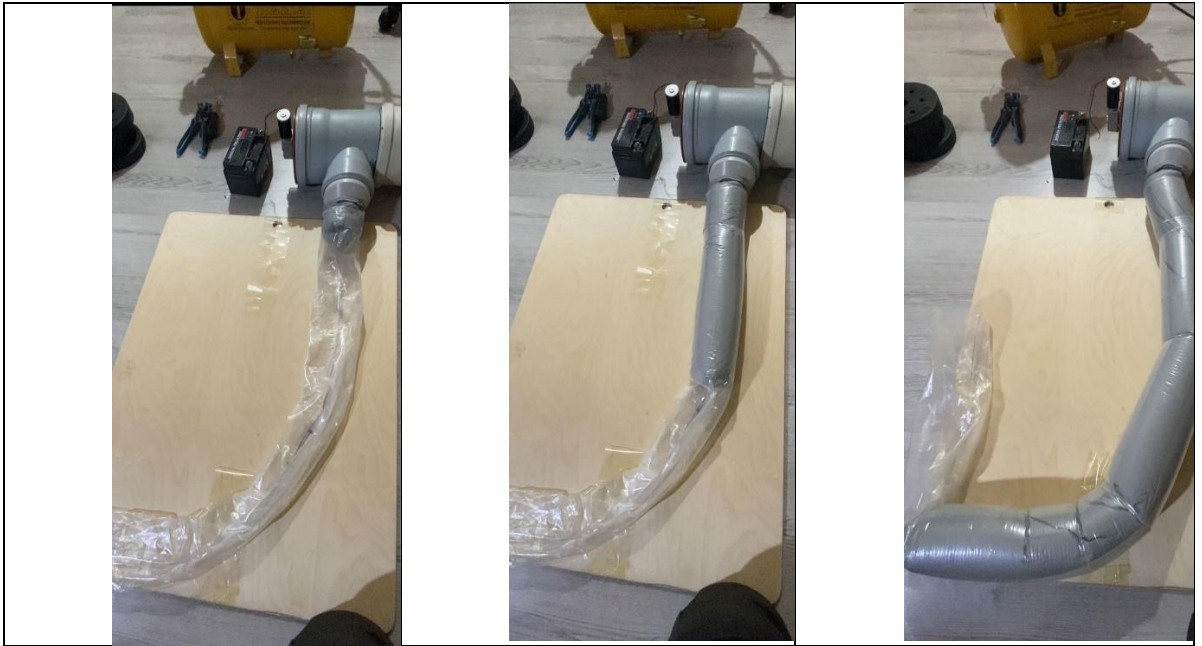


Рисунок 11. Движение робота через извилистые пространства.

Был проведен эксперимент с прохождением через кривую трубу для замера скорости и прохождения поворота.

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

Длина пути – 1 метр

Время прохождения -14 с

Изгиб ($r = 10$ см) – 90°

$$v = \frac{1}{14} = 0.071 \text{ м/с}$$

При прохождении изгиба робот теряет около 29% скорости. Причины:

1. повышение трения между внешней поверхностью робота и внутренней стенкой трубки;
2. перераспределение давления воздуха внутри конструкции;
3. локальные деформации материала.

Таблица 3. Сравнение кривизны участка и скорости прохождения

№	Радиус поворота, см	*Кривизна (1/см)	Скорость, м/с
1	∞ (прямой участок)	0	0,100
2	30	0,0333	0,085
3	20	0,0500	0,078
4	10	0,1000	0,071

*-условная единица измерения

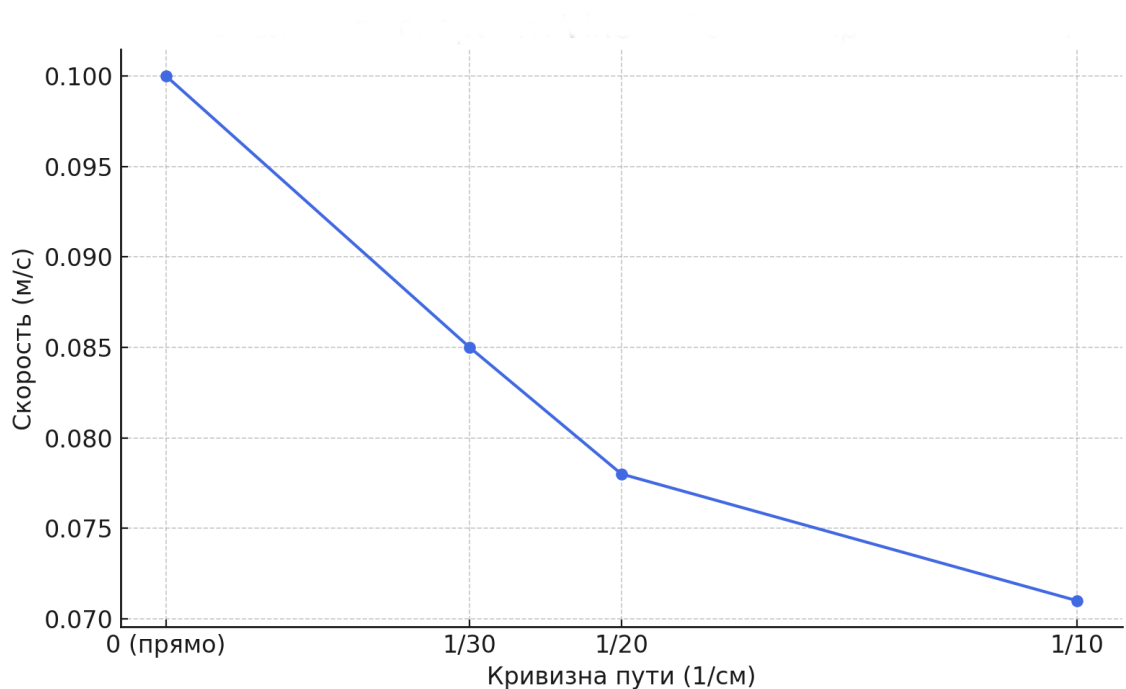


Рисунок 12. Зависимости скорости от кривизны участка

Мягкий робот-змея движется медленнее на участках с высокой кривизной, поскольку требуется больше времени на перестройку формы тела, а также увеличиваются потери энергии на изгиб и трение. Эта зависимость важна для планирования маршрутов и управления скоростью робота при навигации по сложным траекториям.

В работах представленных ранее исследовавших ученых по теме мягких роботов, было замечено одинаковость и повторяемость ошибок во время проведения экспериментов. Начиная от формы и материалов изготовления тела, заканчивая давлением в пневмосистеме.



а)

б)

Рисунок 13. Движение робота на липкой поверхности.

Также был проведен эксперимент с липкой поверхностью. На поверхности, где может «застрять» колесный или гусеничный робот, надувной робот змея показала лучшую проходимость и устойчивость. Скорость сохранилась, как и направление.

3.2 Грузоподъемность робота

Удельная нагрузка — это физическая величина, которая показывает, какое количество массы (веса) приходится на единицу площади. В рамках проектирования мягких роботов этот параметр отражает, насколько эффективно и безопасно распределяется нагрузка на гибкую поверхность конструкции. Для того чтобы вычислить усилие на боковое сечение тела мягкого робота, воспользуемся законом Роберта Гука для нормального напряжения в поперечном сечении:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (2)[18]$$

Для разработки прототипа выполняющий горизонтальное перемещение с помощью давления воздуха я упростила уравнение с целью расчета удельного

подъемного веса мягкого робота цилиндрической формы из текстильного материала. Чтобы определить точные параметры будущего прототипа придется провести дополнительные исследования по материалам тела мягкого робота на пористость и дегазацию, так же по компрессии расхода воздуха в пневмосистеме, расчет утилизации отработанного воздуха в системе.

$$\sigma = \frac{m}{s} \quad (3)$$

где

m-масса,

S-площадь.

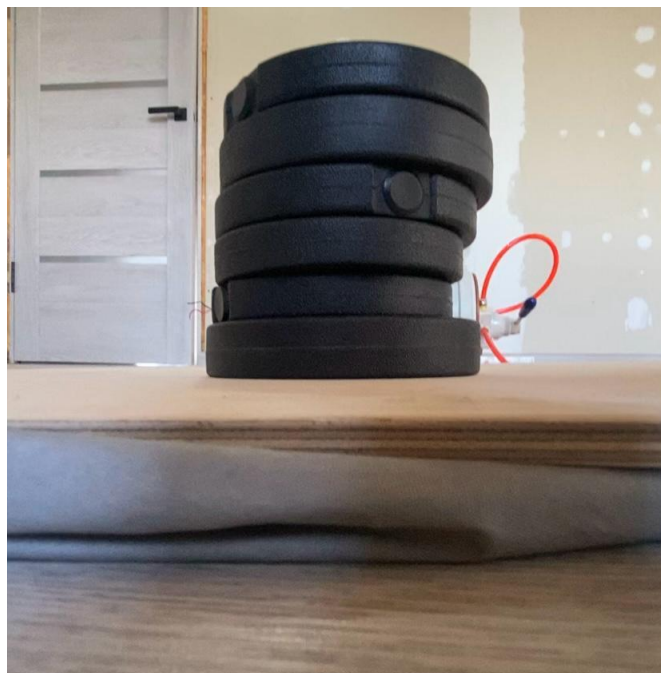


Рисунок 14. Грузоподъемность робота

Зачем нужен этот расчёт:

1. Для оценки максимальной массы, которую может выдерживать мягкий робот без деформации.
2. Для правильного проектирования формы и размера робота, чтобы нагрузка была распределена равномерно.
3. Для сравнения эффективности различных материалов и конструкций. Если значение удельной нагрузки превышает допустимое, это может привести к повреждению мягкого робота. Поэтому правильный расчёт этого показателя важен для надёжности и безопасности конструкции.

Исходные данные для расчета, нагрузка с массой 11 кг и площадь поверхности груза 900см²

$$\sigma = \frac{11 \text{ кг}}{900 \text{ см}^2} = 0.01222 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

0.01222 кг/см² или 12.22 г/см²

Теперь мы можем рассчитать максимальную грузоподъемность

Формула боковой площади цилиндра:

$$S = 2\pi r h \quad (3)[19]$$

где:

r = 4 см,

h = 150 см.

Нашли полную площадь тела робота,

$$S = 2 * 3.14 * 4 * 150 = 3768 \text{ см}^2$$

Следовательно,

$$\sigma_{\text{max}} = 12.22 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} * 3768 \text{ см}^2 \approx 46 \text{ кг}$$

Таблица 4. Сравнение площади и грузоподъемности робота

Давление (атмосфер)	Длина (см)	Площадь (см ²)	Удельная нагрузка (г/см ²)	Примерная грузоподъёмность робота 1.5×8 см (кг)
2	150	3768	12.22	46
2	300	7536	12.22	92
2	600	15072	12.22	184
2	900	22608	12.22	276

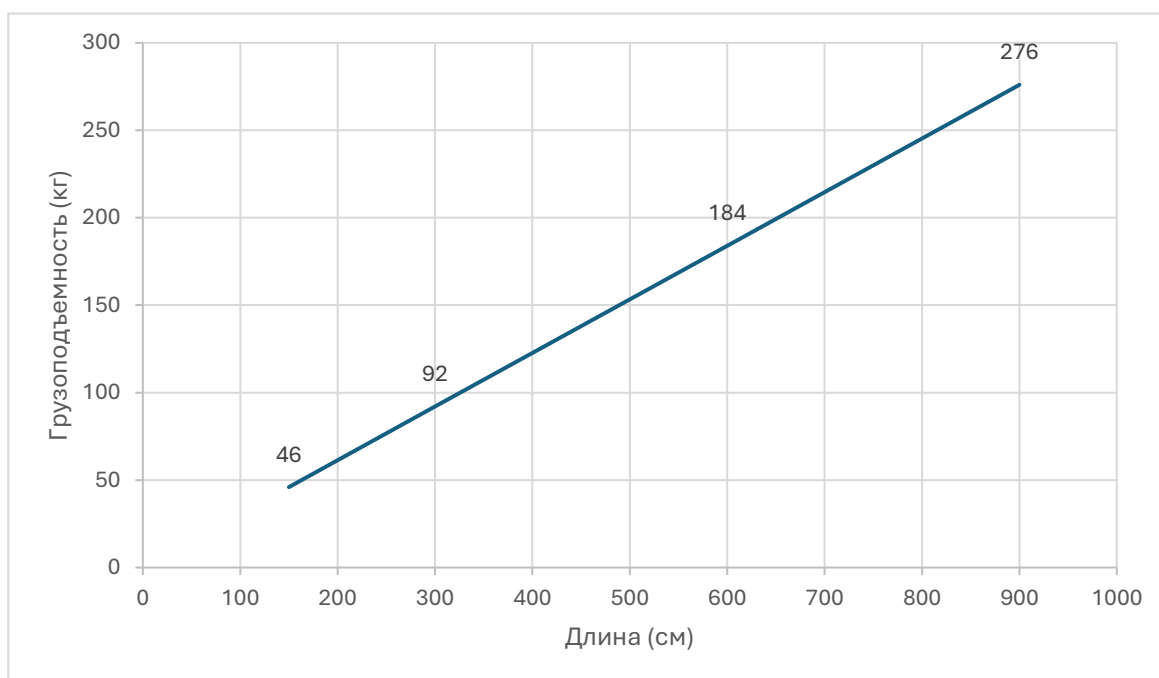


Рисунок 14. Линейная зависимость грузоподъемности от длины тела

На рисунке указана линейная зависимость грузоподъемности робота от длины тела (площади). Представленные материалы подтверждают линейную зависимость грузоподъемности от геометрических параметров робота, что важно для проектирования систем с требуемыми характеристиками.

3.3 Доставка полезной нагрузки

Робот может спереди оснащен различными сенсорами и датчиками, и дополнительным грузом, чтобы их доставить в необходимую точку назначения.

Следует учесть что под грузоподъемностью важно понимать что по сценарию движения наш прототип должен толкать, а если неспособен то должен обойти препятствие и донести полезный груз пострадавшим.



Рисунок 15. Приложенная сила робота

Был проведен эксперимент на перемещение груза с места. Роботу удалось сдвинуть груз с весом 3.5 кг.

$$F_{\text{трения}} = \mu N \quad (4)[20]$$

где $\mu \approx 0.3$ (коэффициент трения поверхности)

$$N = mg \quad (5)[21]$$

Чтобы толкать груз, необходимо приложить силу больше, чем сила трения.

$$F_{\text{робота}} > F_{\text{трения}} = 0.3 * 3.5\text{кг} * 9.8\text{м/с}^2 = 10.3 \text{ Н}$$

В ходе выполнения работ по разработке прототипа мягкого робота, я не учитывала подъемную силу, так как задача на транспортировку полезного груза во время спасательных операций подразумевает «толкание» препятствия, если таковые возникнут. Для того чтобы донести устройство связи до пострадавших под завалами, данный прототип должен справиться с этой задачей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе этой проектной дипломной работы была разработана и сконструирована концепция мягкого змееподобного робота. Робот предназначен для использования в условиях, где обычные жесткие роботы не могут работать. Актуальность этого проекта обусловлена растущей потребностью в роботизированных инструментах для поисково-спасательных операций, археологических раскопок и геологических полевых работ.

Теоретическая часть была сосредоточена на изучении существующих конструкций мягких роботов — их сильных сторон, ограничений и областей применения. Это помогло определить основные требования к конструкции и принципы управления для нового устройства.

В практической части были выбраны компоненты, спроектирован корпус робота, разработаны как система управления, так и электронная схема. Также были предложены улучшения конструкции и сделана оценка общей стоимости проекта.

Готовый прототип был успешно построен и испытан в различных условиях. Эти испытания подтвердили хорошую мобильность, гибкость и способность робота выдерживать физическую деформацию. Он показал, что может эффективно перемещаться по узким, изогнутым пространствам, доказав свою полезность для задач в ограниченных условиях.

В результате созданный мягкий робот-змея представляет собой практичную и перспективную платформу для будущих достижений в области мобильной робототехники, направленной на работу в сложных или ограниченных условиях. В будущем его возможности могут быть расширены путем модернизации компонентов и доработки конструкции для улучшения производительности и добавления новых функций.

ГЛОССАРИЙ

Актуатор - устройство, преобразующее энергию в механическое движение. В мягкой робототехнике используются пневматические, гидравлические, электроактивные и магнитные актуаторы.

Интеллектуальные материалы (Smart Materials) – это материалы, которые способны изменять свои физические свойства (форму, размер, жесткость, вязкость, оптические или электрические характеристики) в ответ на внешние воздействия (температура, электрическое поле, магнитное поле, свет, давление, влажность, pH и т. д.) и/или способные выполнять функции сенсоров или актуаторов.

Адаптивность - способность робота изменять форму и поведение в ответ на внешние условия (неровные поверхности, препятствия).

Биомиметика - принцип проектирования, при котором механизмы робота копируют движения живых организмов (например, змей, осьминогов).

SOFT Robot (Мягкий робот) - робот из гибких, эластичных материалов (силиконы, гидрогели, ткани), безопасно взаимодействующий с окружающей средой.

Tmsuk - японская компания, разрабатывающая практических сервисных роботов для безопасности, ухода, развлечений и образования.

Бионика - научное направление, заимствующее принципы строения и функций живых организмов для создания новых технологий и устройств.

Драйвер L298N - микросхема для управления направлением и скоростью вращения двух двигателей постоянного тока (DC) или одного шагового двигателя (часто с Arduino).

Octobot - первый полностью мягкий автономный робот без жесткой электроники, использующий микрожидкостную логику и химическую реакцию.

FluidSim - программное обеспечение для моделирования, проектирования и обучения пневматике, гидравлике и электротехнике.

Arduino Nano - компактная плата разработки на базе микроконтроллера ATmega328 для создания электронных проектов.

Arduino Uno - самая широко используемая плата разработки из семейства Arduino. Является открытой аппаратно-программной платформой для быстрого прототипирования электронных устройств. Основана на микроконтроллере ATmega328P, имеет простую среду разработки (IDE) и большое количество цифровых и аналоговых входов/выходов (I/O).

ATmega328 - распространённый 8-битный микроконтроллер, используемый как основной процессор в платах Arduino Uno и Nano.

AC (Alternating Current) - переменный ток - электрический ток, периодически меняющий величину и направление.

DC (Direct Current) - постоянный ток - электрический ток, не меняющий величину и направление с течением времени (батареи, аккумуляторы).

Оксфорд 240D PU - Ткань оксфордского переплетения с плотностью 240 денье (D) и полиуретановым (PU) покрытием. Характеризуется высокой прочностью, износостойкостью, водонепроницаемостью и устойчивостью к истиранию. Широко используется для изготовления рюкзаков, сумок, тентов, рабочей одежды и т. д.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Переладов И.К. Змееподобные роботы: технологии и перспективы // Молодой ученый. – 2024. – №28. – С. 21–25. <https://moluch.ru/archive/527/116625/>
- [2] Ларкина А.В. Шагающие роботы для спасательных операций. Обзор и анализ существующих моделей // Кибернетика и программирование. – 2021. -- №1. -С. 36–37.
<https://cyberleninka.ru/article/n/shagayuschie-roboty-dlya-spasatelnyh-operatsiy-obzor-i-analiz-suschestvuyuschih-modeley>
- [3] Магид Е.А. Роботизация поисково-спасательных операций// Казанский федеральный университет. - 2017. – 8 С. –
<https://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/158038>
- [4] Абдикодиров Х.Ш. Совершенствование безопасности труда спасателей, работающих в условиях чрезвычайных ситуаций // Universum: технические науки. – 2022. – №6(99). – С. 24–27.
<https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13828>
- [5] PCNEWS.RU. Робот Tmsuk T-53 Enryu: шеститонный японский робот спасатель // PCNEWS.RU. — 2009. — 13 марта.
<https://pcnews.ru/news/tmsuk-enryu-52-2004-500-259809.html#gsc.tab=0>
- [6] Роботизированная змея в помощь людям // Хабр. — 2014.
<https://habr.com/ru/companies/telebreeze/articles/221977/>
- [7] Программы Царьграда. Человек-легенда Захи Хавасс раскрыл загадку египетских пирамид: "Не бойтесь, заходите..." // <https://taynyplanet.mirtesen.ru/blog/43185852335/CHelovek-legenda-Zahi-Havass-raskryil-zagadku-egipetskih-piramid>
- [8] A robot peers into a long-sealed chamber of the Great Pyramid of Giza // The Washington Post. — 2011. — 31 мая.
https://www.washingtonpost.com/national/science/a-robot-peers-into-a-long-sealed-chamber-of-the-great-pyramid-of-giza/2011/05/31/AGJfrZKH_story.html
- [9] Walker I. D. Soft robotics: Biological inspiration, state of the art, and future research // Wayback Machine. Applied Bionics and Biomechanics. – 2008. С. 99–117
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1080/11762320802557865>
- [10] Soft-bots: Research challenges traditional image of robotics
<https://phys.org/news/2011-12-soft-bots-traditional-image-robotics.amp>
- [11] Железная рука помощи при стихийных бедствиях.
<https://dzen.ru/a/Xa8odnnCbgCwFetl>
- [12] Как роботы спасают людей.
<https://habr.com/en/articles/363161/>
- [13] Japan Earthquake: Robots Help Search for Survivors.
<https://spectrum.ieee.org/japan-earthquake-robots-help-search-for-survivors>
- [14] Japan Earthquake: More Robots to the Rescue.
<https://spectrum.ieee.org/japan-earthquake-more-robots-to-the-rescue>

- [15] Was verbirgt sich hinter der Kalksteinplatte?
https://www.cheopspyramide.de/aegypten_forum_pyramidenbau-cheops-pyramide_luftschacht-seelenschacht-dixon.htm
- [16] Открыватель путей в Великой пирамиде. Дверцы Гантенбринка.
<https://www.yaplakal.com/forum2/topic2075960.html>
- [17] A Geometric Approach towards Inverse Kinematics of Soft Extensible Pneumatic Actuators Intended for Trajectory Tracking
<https://www.mdpi.com/1424-8220/23/15/6882>
- [18] Закон Гука
<https://isopromat.ru/glossary/zakon-guka#>:
- [19] Цилиндр
<https://www.yaklass.ru/p/geometria/11-klass/ploshchad-poverkhnosti-tel-vrashcheniia-10442/elementy-tcilindra-ploshchad-poverkhnosti->
- [20] Сила трения скольжения
<https://www.yaklass.ru/p/fizika/9-klass/vzaimodeistvie-tel-18748/sila-treniia->
- [21] Сила трения
<https://skysmart.ru/articles/physics/sila-treniya>

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект (работу)
Тасмуканова Эвелина

6B07111 - " Робототехника и мехатроника»

На тему: Создание мягкого робота-змеи для перемещения по узким пространствам

Выполнено:

- а) графическая часть на 3 листах
- б) пояснительная записка на 34 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена актуальной и востребованной теме разработки мягкого робота-змеи, способного эффективно функционировать в условиях ограниченного пространства и повышенной опасности, где применение традиционных технических средств затруднено или невозможно.

В теоретической части работы грамотно раскрыта суть и значимость выбранной темы. Студент демонстрирует хорошее знание истории и текущих тенденций в области мягкой робототехники, проводит анализ существующих решений и аргументирует необходимость создания нового устройства. Обоснованный выбор конструкции и материалов манипулятора свидетельствует о системном подходе и понимании инженерных задач. Практическая часть заслуживает особого внимания: автором проделана значительная работа по подбору компонентов, разработке корпуса и схем управления, включая описание принципов функционирования устройства. Также положительно следует отметить проведение экономического расчета, что придаёт работе прикладную ценность.

Разработка была успешно реализована в виде рабочего макета, прошедшего испытания, подтвердившие его работоспособность и соответствие заявленным требованиям. Это позволяет сделать вывод о практической состоятельности предложенного решения.

Необходимо проверить технические расчеты и обосновать применяемые формулы.

Оценка работы

В целом, дипломная работа выполнена на высоком уровне, обладает научной новизной, практической значимостью и демонстрирует высокий уровень подготовки выпускника.

Работа оценивается на 90 баллов.

Рецензент:

PhD, ассоциированный профессор,
директор Национальной нанотехнологической
лаборатории открытого типа,
НАО КазНУ им. аль-Фараби



Муратов М.М.

«30» мая 2025 г.

ОТЗЫВ

на дипломный проект (работу)
Тасмуканова Эвелина

6B07111 - " Робототехника и мехатроника»

На тему: Создание мягкого робота-змеи для перемещения по узким пространствам

Дипломная работа посвящена актуальной и практически значимой теме — разработке мягкого робота-змеи, предназначенного для работы в условиях ограниченного пространства, где использование традиционных роботов затруднено или невозможно. В современных условиях, когда особое внимание уделяется робототехническим системам для задач спасения, инспекции и медицинского применения, выбранная тема представляется весьма своевременной.

В теоретической части дипломной работы студент Тасмуканова Э.Т. демонстрирует глубокое понимание предметной области, обоснованно раскрывает значимость мягкой робототехники, анализирует существующие конструкции и решения, выявляя их ограничения. Студент аргументирует необходимость создания новой конструкции, делая акцент на гибкости, манёвренности и безопасности устройства.

Студент самостоятельно разработал конструкцию мягкого манипулятора, произвел подбор компонентов, разработал схему управления, описал используемые алгоритмы и реализовал макет устройства. Также заслуживает положительной оценки включение в работу экономического обоснования проекта, что повышает её прикладную значимость. Особенно важно отметить, что разработка не ограничилась теоретическим проектированием: собранный макет был успешно испытан и показал работоспособность конструкции и принципов управления. Это подтверждает высокий уровень самостоятельности, технической подготовки и практической ориентированности автора. Работа выполнена качественно, отвечает всем требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам, и заслуживает высокой оценки.

Студент Тасмуканова Эвелина проявила ответственность, инициативность и профессиональный подход к выполнению поставленных задач и заслуживает присуждения степени бакалавр.

Руководитель

Старший преподаватель каф.РТиТСА


(подпись) Байтуганова В.К.
«30» мая 2025 г.



Отчет подобия

Метаданные

Название организации
Satbayev University

Название
Создание мягкого робота-змеи для перемещения по узким пространствам

Автор Научный руководитель / Эксперт
Тасмуханова Эвелина Тимуровна Венера Байтурганова

Подразделение
ИАИИТ

Объем найденных подобий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках. Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП12

5059

Количество слов



КЦ

41214

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		2
Интервалы		0
Микропробелы		3
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		13

Подобия по списку источников

Нижне представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз		Цвет текста
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://official.satbayev.university/download/document/42423/%D0%97%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%96%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%20%D0%9C%D1%83%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%8B%D0%B7%D1%8B%20%D0%94%D0%A0.pdf	28 0.55 %

2	https://official.satbayev.university/download/document/42423/%D0%97%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%96%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%20%D0%9C%D1%83%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%8B%D0%B7%D1%8B%20%D0%94%D0%A0.pdf	21 0.42 %
3	https://official.satbayev.university/download/document/42423/%D0%97%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%96%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%20%D0%9C%D1%83%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%8B%D0%B7%D1%8B%20%D0%94%D0%A0.pdf	17 0.34 %
4	https://official.satbayev.university/download/document/42423/%D0%97%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%96%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%20%D0%9C%D1%83%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%8B%D0%B7%D1%8B%20%D0%94%D0%A0.pdf	14 0.28 %
5	https://official.satbayev.university/download/document/42423/%D0%97%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%96%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%20%D0%9C%D1%83%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%8B%D0%B7%D1%8B%20%D0%94%D0%A0.pdf	14 0.28 %
6	https://official.satbayev.university/download/document/42423/%D0%97%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%96%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%20%D0%9C%D1%83%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%8B%D0%B7%D1%8B%20%D0%94%D0%A0.pdf	13 0.26 %
7	https://official.satbayev.university/download/document/42423/%D0%97%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%96%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%20%D0%9C%D1%83%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%8B%D0%B7%D1%8B%20%D0%94%D0%A0.pdf	9 0.18 %
8	https://official.satbayev.university/download/document/42423/%D0%97%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%96%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%20%D0%9C%D1%83%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%8B%D0%B7%D1%8B%20%D0%94%D0%A0.pdf	5 0.10 %

из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из программы обмена базами данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (2.39 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://official.satbayev.university/download/document/42423/%D0%97%D0%B0%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%96%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B5%20%D0%9C%D1%83%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%8B%D0%B7%D1%8B%20%D0%94%D0%A0.pdf	121 (8) 2.39 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---