

УДК 7.05

Дизайн-концепция роботизированной системы транспортировки грузов

Хундоева Ирина Будаевна

khundoevaib@student.bmstu.ru

Ртищев Денис Игоревич

rtishchev.d.i@bmstu.ru

Терехова Наталия Юрьевна

terehova@bmstu.ru

SPIN-код: 4321-9582

Спасская Дарья Дмитриевна

spasskaydd@bmstu.ru

SPIN - код: 7515-9615

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Современные склады и производственные предприятия сталкиваются с растущими требованиями к скорости, точности и безопасности логистических операций. Традиционные погрузчики, несмотря на свою надежность, обладают рядом недостатков, требуют участия оператора, занимают много пространства и не эффективны в условиях высокой динамики грузопотоков. В то же время полностью автономные роботизированные системы часто ориентированы на работу с легкими грузами и не поддерживают работу с паллетами. Актуальность исследования и дизайн-проектирования в этом аспекте обусловлена потребностью в автоматизации логистических процессов и создании принципиально нового решения, сочетающего маневренность компактных роботов с функциональностью классических вилочных погрузчиков. Роботизированные системы представляют собой перспективное направление развития. Кроме того, исследование в данной области способствует решению ряда проблем, таких как снижение ошибок при транспортировке и уменьшение времени выполнения операций. В работе использованы методы анализа существующих решений, сравнительный анализ, сценарное моделирование и оценка эффективности. Также применены подходы к проектированию, включающие изучение инновационных технологий и определение требований целевой аудитории.

Ключевые слова: дизайн-концепция, предпроектный анализ, дизайн-исследование, роботизированные транспортные системы, роботизированный вилочный погрузчик, вилочная роботизированная рохля

Design concept of a robotic cargo transportation system

Hundoeva Irina Budaevna

khundoevaib@student.bmstu.ru

Rtishchev Denis Igorevich

rtishchev.d.i@bmstu.ru

Terekhova Natalia Yurievna

terehova@bmstu.ru

SPIN-code: 4321-9582

Spasskaya Darya Dmitrievna

spasskaydd@bmstu.ru

SPIN-code: 7515-9615

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. Modern warehouses and manufacturing enterprises face increasing demands for the speed, accuracy, and safety of logistics operations. Traditional forklifts, despite their

reliability, have several disadvantages: they require operator involvement, occupy significant space, and are inefficient in high-traffic environments. At the same time, fully autonomous robotic systems are often designed for handling lightweight loads and do not support pallet operations. The relevance of research and design development in this area is driven by the need to automate logistics processes and create a fundamentally new solution that combines the maneuverability and compactness of small robots with the functionality of traditional forklifts. Robotic systems represent a promising direction for development. Moreover, research in this field contributes to solving several problems, such as reducing errors during transportation and decreasing operation times. The work employs methods including analysis of existing solutions, comparative analysis, scenario modeling, and efficiency assessment. Approaches to design also include studying innovative technologies and defining the requirements of the target audience.

Keywords: *design concept, pre-project analysis, design research, robotic transportation systems, robotic forklift, forklift robotized trolley*

Введение. Разрабатываемая система, состоит из двух взаимодополняющих модулей и предлагает инновационный подход к автоматизации складских операций [1]. В проектируемую систему входит роботизированный вилочный погрузчик и роботизированная рохля, которые взаимодействуя друг с другом, призваны обеспечить повышение эффективности работы на складских помещениях [2]. Роботизированный вилочный погрузчик представляет собой беспилотный вилочный робот-штабелер, который предназначен для выполнения задач, связанных с погрузкой и разгрузкой грузов. Он обладает высокой точностью позиционирования и способностью работать в тесных пространствах, что делает его идеальным для использования на складах и в производственных помещениях. Предложенная организация взаимодействия между роботизированным вилочным погрузчиком и роботизированной рохлей позволяет оптимизировать логистические процессы, обеспечивая высокую скорость и точность выполнения операций [3]. Разрабатываемая система, состоящая из двух взаимодополняющих модулей, выполнена в едином стиле на основании проведенных всесторонних дизайн-исследований [4]. Для достижения поставленной цели в рамках разработки роботизированной системы транспортировки грузов необходимо решить следующие ключевые задачи:

1. Анализ существующих решений в области роботизированных систем транспортировки грузов.

2. Проектирование эргономичного и функционального дизайна роботов. Конструкция роботов должна учитывать не только технические требования (грузоподъемность, маневренность), но и безопасность взаимодействия с персоналом, другими роботами и инфраструктурой склада. Необходимо проработать компоновку датчиков, удобство обслуживания, устойчивость к внешним воздействиям (пыли, вибрации), а также следует уделить внимание дизайну роботизированного вилочного погрузчика, чтобы обеспечить его совместимость с будущей роботизированной рохлей и оптимизировать его работу в тесных пространствах склада.

Предлагаемое решение позволяет: сократить эксплуатационные расходы, повысить точность операций, минимизировать необходимость переоборудования складов.

Основные проблемы, с которыми сталкиваются современные системы транспортировки грузов, включают высокую зависимость от человеческого труда, что приводит к увеличению времени выполнения операций и повышению риска ошибок. Кроме того, традиционные системы часто требуют значительных затрат на обслуживание и модернизацию. Проблемы также связаны с ограниченной способностью к адаптации к изменяющимся требованиям логистики, что создает дополнительные сложности для компаний [5].

Дизайн-исследование является одним из основных этапов дизайн-проектирования и заключается во всестороннем изучении объекта с целью его преобразования или создания нового в соответствии с новыми техническими и технологическими возможностями, актуальными социальными и культурными задачами времени и жизненными потребностями. Оно включает исследование потребителей, рынка, производства, а также анализ источников информации и существующих решений. Анализ прямых аналогов — метод оценки конкурентоспособности продукта путем детального изучения существующих аналогичных товаров или услуг на рынке. Этот подход позволяет выявить сильные и слабые стороны конкурентов, определить возможности улучшения своего предложения и повысить конкурентоспособность бизнеса.

На современном этапе развития технологий в области транспортировки грузов существует множество решений, направленных на автоматизацию и оптимизацию логистических процессов. Ключевой частью анализа стало сравнение аналогичных решений по ряду параметров: грузоподъемность (способность выдерживать нагрузку свыше 1 тонны), маневренность (возможность двигаться в стесненном пространстве складов и производственных площадок), навигация (наличие эффективных систем ориентации и предотвращения столкновений), безопасность (меры защиты операторов и инфраструктуры от несчастных случаев).

Анализ существующих решений показывает, что современные технологии обладают значительным потенциалом для оптимизации логистических процессов. При этом для достижения максимальной эффективности необходимо учитывать их ограничения и разрабатывать системы, способные компенсировать выявленные недостатки.

Помимо прямых аналогов, было проведено исследование косвенных решений, в целях расширения кругозора дизайнера для возможности привнесения в проект оригинальности, либо нахождения более подходящего и эффективного решения. Анализ косвенных аналогов — это методика исследования, направленная на расширение круга возможных решений путем изучения смежных отраслей или рынков, не являющихся прямыми конкурентами исследуемого продукта. Суть метода заключается в том, чтобы выявить интересные идеи и подходы, которые можно адаптировать и перенести в проекти-

руемый продукт, придавая ему дополнительную уникальность и конкурентоспособность. Такой подход позволяет находить оригинальные решения, предлагая свежий взгляд на проект и помогая преодолеть стереотипы традиционного мышления.

Анализ аналогичных решений показывает широкие перспективы улучшения характеристик разрабатываемого вилочного роботизированного погрузчика. Заимствуя лучшие черты различных транспортных и логистических машин, можно получить уникальный продукт, обладающий повышенной функциональностью, безопасностью и производительностью. Это обеспечит устройству конкурентные преимущества перед аналогичными моделями, представленными на рынке, и создаст предпосылки для успешного развития бизнеса в области роботизированной складской техники. В процессе проектирования важно учитывать не только технические характеристики, но и эргономические аспекты, а также удобство использования и безопасность. Это поможет создать продукт, который будет не только функциональным, но и удобным для операторов и персонала склада.

Анализ аналогов роботизированного вилочного погрузчика позволил сделать вывод, что роботы являются эффективным решением для безопасной транспортировки грузов на паллетах внутри складских и производственных помещений [6]. Эти роботы оснащены системой автономного вождения, что обеспечивает их способность перемещаться по заданным маршрутам без необходимости вмешательства оператора. Анализ целевой аудитории — исследование потенциальных пользователей проектируемого объекта, процесса, услуги. Основная цель — выявить пользовательские потребности и проблемы, как очевидные, так и скрытые (неосознаваемые), возникающие в условиях потребления или использования продукта. Список целевой аудитории является важным инструментом для разработки стратегии маркетинга и продвижения в сфере робототехники. Было выделено несколько категорий целевой аудитории: промышленные и логистические компании, крупные склады и распределительные центры, склады малого объема, тепличные хозяйства, фармацевтические склады, аэропорты и порты.

Анализ заинтересованных сторон позволяет выявить дополнительные ниши применения устройства, новые категории целевой аудитории и уточнить потенциальный объем производства. Это, в свою очередь, помогает определить подходящие технологии производства. Для решения этой задачи была составлена карта заинтересованных сторон (рис. 1).

Схема демонстрирует, что робот-погрузчик интегрирован в сложную экосистему, включающую 14 групп заинтересованных лиц — от непосредственных пользователей (операторов и логистов) до внешних участников (инвесторов и регуляторов). Учет интересов всех этих групп критически важен для успешной разработки, внедрения и масштабирования продукта. Такой анализ позволяет выявлять скрытые рыночные ниши, прогнозировать объемы производства и минимизировать риски за счет заблаговременного согласования требований всех заинтересованных сторон.



Рис. 1. Карта заинтересованных сторон

Сценарный анализ является важным инструментом, позволяющим учитывать различные вероятные сценарии развития событий при проектировании сложных систем. В контексте разработки роботизированной системы для транспортировки грузов этот метод необходим для предсказания возможных изменений в логистических процессах и адаптации системы к ним. Применение сценарного анализа способствует минимизации рисков и повышению эффективности проектируемой системы. Одним из важнейших аспектов стала проверка гипотез сценария использования предлагаемой системы. Было установлено несколько сценариев, отражающих повседневные ситуации на складах различного уровня:

Базовый сценарий: ежедневная работа на стандартном складе с обычными условиями эксплуатации.

Внештатный сценарий: случай выхода из строя одного из роботов, проверка устойчивости всей системы.

Исключительный сценарий: экстремальная ситуация, проверка готовности системы к экстренному реагированию.

В повседневный сценарий пользования наиболее распространенные операции считаются те, что моделируют наиболее частые и регулярные действия пользователей, происходящие в повседневной работе системы. Система состоит из роботов-погрузчиков (исполнительные модули для перемещения

грузов), транспортных зон (маршруты передвижения), системы управления (координация работы роботов), интерфейсов взаимодействия (связь с оператором и другими системами склада). Все компоненты должны работать как единое целое благодаря программно-аппаратной платформе, причем необходимо организовать слаженное взаимодействие между роботами, даже если они выполняют разные задачи.

К ключевым эксплуатационным параметрам системы относят: скорость перемещения (до 1,5 м/с, что оптимально для складов с высокой нагрузкой); грузоподъемность (до 1500 кг); точность позиционирования ± 5 мм, что важно для работы с паллетами); время отклика, характеризующую реакцию на препятствия (менее 0,1 сек). Модульная конструкция позволяет адаптировать систему под разные задачи такие, как добавлять новых роботов без перестройки инфраструктуры и менять настройки под разные типы грузов (паллеты, контейнеры), что делает систему универсальной для складов, производств и логистических центров. Проведенные дизайн-исследования позволили сформировать перечень приоритетных задач, необходимых для проектирования роботизированной системы транспортировки грузов. После дизайн-исследований был проведен этап концептуального поиска. В поиске стиливого решения учитывают, что форма связана со стилем и эстетическими качествами, привлекательностью, эмоциональностью. Проектный образ является результатом осмысления всех составляющих будущего объекта. Выбор стилистического решения был основан на тщательном анализе современных тенденций рынка промышленной автоматизации и предпочтениях наших клиентов. Основной задачей было создание современного, функционального образа робота, который гармонично впишется в интерьер производственных предприятий и будет соответствовать строгим требованиям корпоративных стандартов большинства российских компаний.

Современный дизайн данного объекта стремится создать образ технологического помощника, сочетающего простоту форм и функциональность. Лаконичные линии подчеркивают надежность устройства и соответствуют современным стандартам промышленного дизайна. Для визуального оформления из цветовой палитры были выбраны нейтральные оттенки серого и белого цветов. Эти цвета ассоциируются с профессионализмом, чистотой и высоким уровнем технологий, идеально подходящих для серьезной рабочей среды. Акцент на материалах — сочетание металлических поверхностей и пластиковых панелей с гладкой текстурой, подчеркивающих высокое качество исполнения. Расположение сенсоров и электроники — сбалансированное распределение открытых и закрытых участков, гарантирующее оптимальный баланс доступности и защиты.

Важным критерием стало исключение излишнего декорирования, что позволит избежать перегруженности информацией и сделает робота простым в освоении и эксплуатации. Таким образом, в будущем разработанный робот-погрузчик будет иметь стильное и практичное оформление, которое станет важнейшим элементом привлечения внимания и доверия покупателей демон-

стрируя серьезность, технологичность и надежность разработанного продукта, а также будет подчеркивать профессионализм и инновационность.

Наиболее удачный вариант выбран на основании гипотетических тестов на удобство эксплуатации и восприятие пользователями. Однако первый эскизный поиск (рис. 2), как и у прямых аналогов, сохранил фиксированную форму, что привело к минимальным изменениям в дизайне.

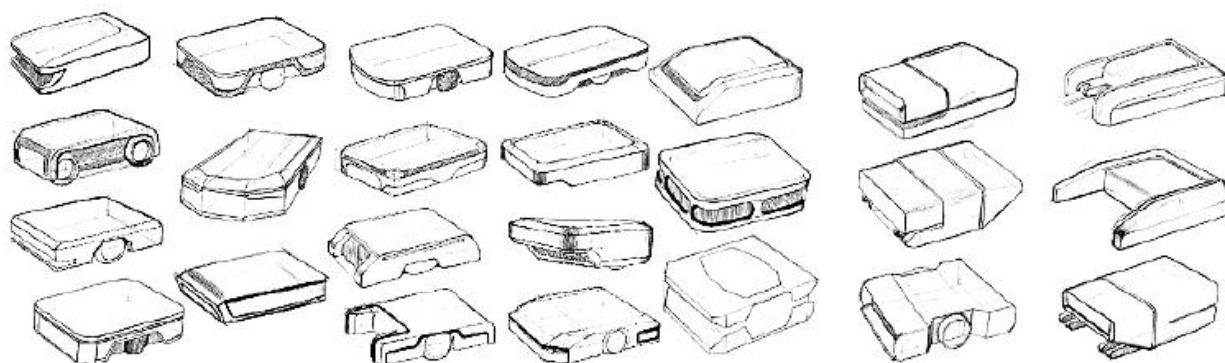


Рис. 2. Эскизный поиск формы

Однако связи с тем, что объектом данного исследования является вилочный робот-погрузчик, у которого нет необходимости в большом количестве пространства на верхней части робота для платформы перевозки, то можно изменить форму для отверстия, через которое выходят вилы паллет (рис. 3).

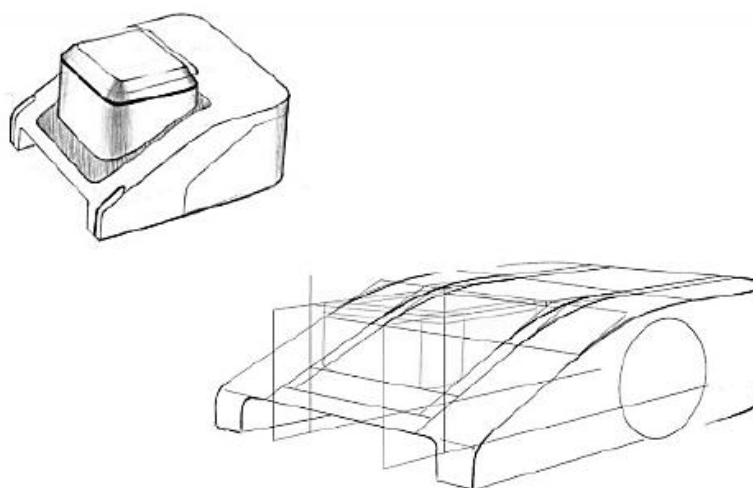


Рис. 3. Поиск формы

Поисковое концептуальное эскизирование — это не просто «рисование красивых картинок», а фундаментальный инструмент для визуализации, исследования и уточнения дизайн-концепции, позволяющий дизайнеру глубоко «прочувствовать» будущий продукт и подготовить обоснованное решение

для последующих этапов проектирования. После проведенного поискового эскизирования идет этап поискового 3D-моделирования, что подразумевает собой разработку нескольких вариантов 3D-моделей, которые были созданы на эскизировании. На этом этапе формируется базовая концепция внешнего вида и компоновки. Основная задача этапа — определить выразительный и функциональный облик изделия, строго соответствующий исходным техническим требованиям (рис. 4).

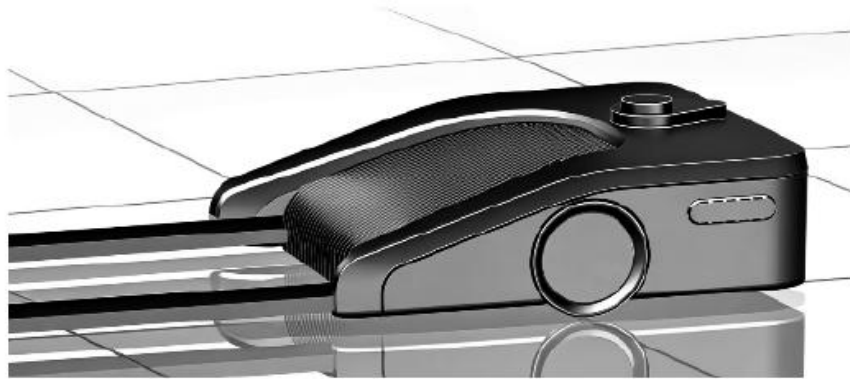


Рис. 4. Поиск модели

После создания модели были проведены проверки на соответствие техническим требованиям и стандартам (рис. 5).



Рис. 5. Поиск формы робота

Поисковое 3D-моделирование роботизированного робота является важным этапом в процессе дизайн-концепции. Особое внимание уделяется технологичности, эргономичности и визуальной идентичности изделия. Оно позволяет создать несколько моделей робота для выявления более подходящей формы для всех необходимых критериев. Также в качестве эксперимента было проведено нейросетевой поиск формы и материала объекта. После выявления нескольких вариантов проводится итерационная визуальная оценка (рис. 6).

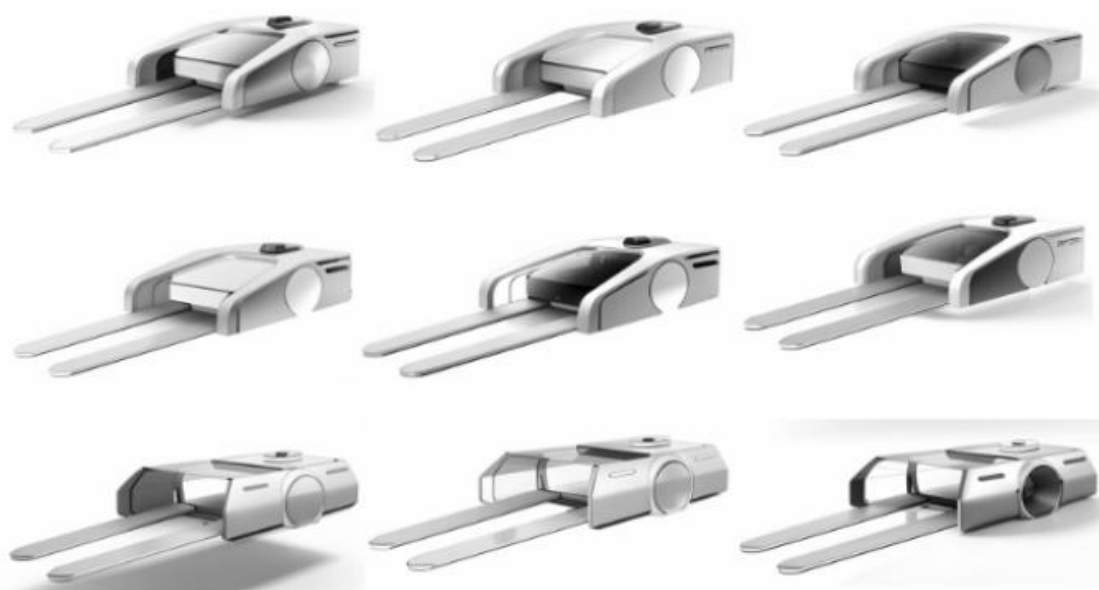


Рис. 6. Поисковые 3D-модели

Результатом этого этапа является выбор одного или нескольких концептуальных направлений для дальнейшей детальной проработки на этапе конструктивного (твердотельного) моделирования, где будут определены точная геометрия и размеры всех узлов и механизмов.

Список источников

- [1] Автоматизация хранения, перемещения и управления роботами на складе. URL: <https://metra-dl.com/amr> (дата обращения 15.04.2024).
- [2] Автоматизация складов с помощью роботов. URL: <https://top3dshop.ru/blog/warehouse-and-logistics-robots-review.html> (дата обращения 11.04.2024).
- [3] AMR Robots: How They Meet the Needs of Modern Material Handling. URL: <https://www.vecnarobotics.com/resources/amr-robots-material-handling/> (дата обращения 11.04.2024).
- [4] Тренды 2025 в сфере складской логистики. NP Logistics. URL: <https://np-log.ru/tpost/tdybojbv21-trendi-2025-v-sfere-skladskoi-logistiki> (дата обращения 11.04.2024).
- [5] Технология AMR способствует промышленной модернизации в соответствии с тенденцией интеллектуального производства. URL: <https://www.tzbotagv.com/info/amr-technology-promotes-industrial-upgrading-u-78010957.html> (дата обращения 11.04.2024).
- [6] Ткаченко А.С. Анализ рынка складской робототехники. Международный научный журнал «Вестник науки», 2024, т. 3, № 6 (75).
<https://doi.org/10.24412/2712-8849-2024-675-1614-1621>