

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Крашакова Антона Павловича

**Разработка и исследование частотно-регулируемого
электропривода автономной грузовой тележки**

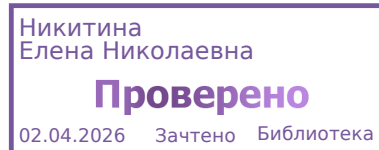
Направление подготовки

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2026



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

Доктор технических наук,
профессор кафедры «ЭПАПУ»
Соловьев Вячеслав Алексеевич

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Электротехника,
электроника и электромеханика»
ФГБОУ ВО ДВГУПС
Мальшева Ольга Александровна

Защита состоится «19» марта 2026 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Автореферат разослан 17 марта 2026 г.

Секретарь ГЭК

А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Возрастающие требования к качеству производственных процессов и необходимость использования высоких технологий обуславливают внедрение современных регулируемых электроприводов в промышленное производство. Электропривод автономной грузовой тележки представляет собой механизм циклического действия, эффективно используемый для перемещения грузов в различных промышленных и складских условиях. Работа тележки разделяется на несколько стадий: разгон, движение с постоянной скоростью и торможение.

Эффективный электропривод должен обеспечивать регулирование скорости подъема и спуска груза, работать в повторно-кратковременном режиме, обладать высокой надежностью и энергоэффективностью. Особую актуальность приобретает применение частотно-регулируемых приводов переменного тока, которые благодаря простоте конструкции асинхронного двигателя, его надежности и низкой стоимости позволяют существенно повысить технико-экономические показатели автономных транспортных средств.

Степень разработанности темы. Теоретические основы частотно-регулируемых электроприводов подробно изложены в трудах В. С. Виноградова, В. Б. Терёхина, В. В. Жуловяна, М. П. Костенко, В. М. Терехова и других исследователей. Практические аспекты применения преобразователей частоты, алгоритмов скалярного и векторного управления для тяговых электроприводов и механизмов перемещения представлены в публикациях и руководствах ведущих разработчиков приводной техники. Однако вопросы проектирования специализированных систем для автономных грузовых тележек с питанием от аккумуляторных батарей требуют дальнейшего исследования и адаптации существующих решений.

Цель исследования – разработать и исследовать частотно-регулируемый электропривод автономной грузовой тележки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить критический анализ существующих систем электропривода, используемых для автономных грузовых тележек.
2. Выполнить обоснование, выбор и техническую проработку предлагаемой системы электропривода; разработать математическую и имитационную модель разрабатываемой системы.
3. Исследовать различные режимы работы разработанной системы электропривода на имитационной модели.

Объект исследования – системы управления частотно-регулируемыми электроприводами, используемые в автономных грузовых тележках.

Предмет исследования – технологии и алгоритмы управления, а также конструкции электроприводов, обеспечивающие высокую производительность и энергоэффективность.

Для решения поставленных задач использованы методы теории электропривода и автоматического управления, включая анализ статических и динамических характеристик асинхронного двигателя, расчет нагрузочных режимов механизма передвижения и оценку энергетических показателей. Применялись методы математического моделирования электромеханических процессов (уравнения электрических цепей, электромагнитного момента и механического движения), а также имитационное моделирование в среде MATLAB для исследования переходных процессов при частотном регулировании.

Прикладная ценность заключается в том, что разработанные схемные решения, расчетные зависимости и имитационная модель могут быть использованы при проектировании частотно-регулируемого электропривода автономной грузовой тележки и при выборе элементной базы (двигатель, преобразователь частоты, аппаратура защиты и управления). Полученные

результаты позволяют обосновать параметры привода по мощности и моменту, задать рациональные законы разгона/торможения и проверить работоспособность системы на типовых эксплуатационных режимах.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 48 наименований. Основной текст изложен на 90 страницах, содержит 32 рисунка и 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, проанализирована степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект, предмет и методы исследования, показана прикладная ценность работы.

В первой главе «Критический анализ существующих систем электропривода, используемых для автономных грузовых тележек» проведен сравнительный анализ различных вариантов приводов.

Во второй главе «Обоснование, выбор и техническая проработка предлагаемой системы электропривода. Разработка математической и имитационной модели» предложена структура силовой части электропривода на базе автономного инвертора тока (АИТ), что обусловлено использованием аккумуляторной батареи как источника постоянного тока. Выполнен расчет и выбор основных элементов системы на основе типовой нагрузочной диаграммы механизма передвижения.

В третьей главе «Исследование работы разработанной системы электропривода на имитационной модели» проведено моделирование пуска и разгона электропривода при перемещении груза автономной грузовой тележки.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе анализа современных систем электропривода установлено, что для автономных грузовых тележек наиболее рациональным является применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода, который обеспечивает высокую надежность, простоту конструкции и широкие возможности регулирования скорости и момента.

Обоснована и разработана структура силовой части электропривода на базе автономного инвертора тока, питающегося от аккумуляторной батареи напряжением 48 В. Выполнен расчет и выбор всех основных элементов: асинхронного двигателя АИР100S4 (3 кВт, 380 В), тиристоров SKT 100/08 D, коммутирующих конденсаторов TDK/EPCOS B32678J4187K000 (180 мкФ), согласующего трансформатора ТСЗП-6,3 и выходного LC-фильтра.

Разработана математическая модель асинхронного двигателя в системе относительных единиц, позволяющая рассчитывать статические и динамические характеристики привода. Выполнен синтез регуляторов тока, потокосцепления и скорости для замкнутой системы подчиненного регулирования с настройкой на модульный и симметричный оптимумы.

Создана имитационная модель системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» в среде MATLAB/Simulink, позволяющая исследовать поведение электропривода в различных режимах работы (пуск, торможение, наброс нагрузки, работа на пониженных скоростях).

В результате имитационного моделирования подтверждена работоспособность предложенной системы электропривода. Установлено, что разомкнутая система скалярного управления по закону U/f обеспечивает требуемые тяговые свойства, плавность пуска и торможения, допустимые уровни токов и момента в переходных процессах. Выявлена статическая ошибка по скорости, что определяет целесообразность применения замкнутых систем при необходимости повышения точности регулирования.

Разработанные схемные решения, расчетные зависимости и имитационная модель могут быть использованы при проектировании и

модернизации электроприводов автономных грузовых тележек, а также в учебном процессе при подготовке специалистов в области электроэнергетики и электротехники.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Крашаков А.П. Анализ современных систем электропривода автономных грузовых тележек / А.П. Крашаков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IX Всероссийской национальной научной конференции молодых ученых, – Комсомольск-на-Амуре, 06-10 апреля 2026 года. – Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2026.

2. Крашаков А.П., Разработка и исследование частотно-регулируемого электропривода автономной грузовой тележки / А.П. Крашаков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IX Всероссийской национальной научной конференции молодых ученых, – Комсомольск-на-Амуре, 06-10 апреля 2026 года. – Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2026.