

Периодический рецензируемый научно-технический журнал «Электроника и электрооборудование транспорта» является коллективным членом Академии электротехнических наук РФ.

Учредитель и издатель – Научно-производственное предприятие «Томилинский электронный завод».

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК для апробации кандидатских и докторских диссертаций.

Свидетельство о регистрации СМИ
Эл № ФС77-90136
от 16 октября 2025 г.
Выдано Роскомнадзором

Главный редактор:
В.А. Осипова

Редакционный совет:
М.П. Бадер, д.т.н., профессор
В.Я. Беспалов, д.т.н., профессор
А.С. Веденеев, д.ф.-м.н., доцент
Л.А. Герман, д.т.н., профессор
Ю.М. Иньков, д.т.н., профессор
В.В. Калугин, д.т.н., доцент
А.А. Ковалев, д.т.н.
К.Л. Ковалев, д.т.н., доцент
В.Н. Козловский, д.т.н., доцент
А.С. Космодамианский, д.т.н.,
профессор
А.И. Попов, д.т.н., профессор
В.Т. Пенкин, д.т.н., доцент
С.Т. Рембеза, д.ф.-м.н., профессор
В.И. Сарбаев, д.т.н., профессор
М.В. Шевлюгин, д.т.н., доцент

Выпускающий редактор:
Р.А. Валиулин

Адрес издателя и редакция:
140070, Московская область,
Люберецкий район, п. Томилино,
ул. Гаршина, д. 11.
Тел./факс: (495) 500-40-20
E-mail: npptez@mail.ru
Сайт: www.npptez.ru

Журнал издается в электронном виде.
Адрес сайта: eet-journal.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Мустафаев М.Г., Мустафаева Д.Г., Мустафаев Г.А.
Формирование высоконадежных микроэлектронных
приборных структур с минимальным уровнем
дефектности и заданными параметрами 2

Петров Т.И.
Целесообразность применения многокритериальной
оптимизации для электрических двигателей
электрического транспорта 6

Чебоксаров А.Н.
Практические методы оценки состояния
стартерных акб автомобилей 10

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

Дербенев А.Е.
Модернизация контактной сети и тяговых подстанций
для высокоскоростного движения 14

Попов Ю.В.
Формирование акустической обстановки
в кабине экипажа 17

Рыжкова Е.Л.
Интенсификация теплоотдачи с помощью использования
наночастиц в теплоносителях для повышения
их теплофизических свойств 24

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Антонов М. С., Худоногов И. А.
Поиск неисправностей систем ПСГО железнодорожных станций 30

Антонов М. С.
Локализация повреждений фидерных линий станционной
двухсторонней парковой связи 34

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Рыжкова Е.Л.
Внедрение технологий искусственного интеллекта
на железнодорожном транспорте 37

ИНФОРМАЦИЯ

Книги 42

Выставки 44

Формирование высоконадежных микроэлектронных приборных структур с минимальным уровнем дефектности и заданными параметрами

// FORMATION OF HIGHLY RELIABLE MICROELECTRONIC DEVICE STRUCTURES WITH A MINIMUM LEVEL OF DEFECTS AND SPECIFIED PARAMETERS //

Мустафаев М.Г.,
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский
горно-металлургический
институт, г. Владикавказ

Мустафаева Д.Г.,
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский
горно-металлургический
институт, г. Владикавказ

Мустафаев Г.А.
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский
горно-металлургический
институт, г. Владикавказ

В технологии изготовления микроэлектронных приборов, в особенности при производстве изделий с субмикронными размерами, возможны различные виды несовершенств, усиливается взаимосвязь между параметрами собственно приборных структур и технологией их изготовления. Существенное влияние на параметры изделий оказывает процесс формирования приборных структур. Повышение роли методов контроля, выявление закономерностей и точности выполнения технологических операций, установление взаимосвязи характеристик технологического процесса и выхода годных изделий, позволяет обеспечить воспроизводимость технологии и формирования приборных структур с заданными параметрами. При реализации технологии создания изделий в производственных условиях формируются конструктивно-технологические основы, при которых устанавливаются заданные параметры. Воспроизводимость технологии и обеспечение заданных параметров элементов интегральной электроники достигается проведением статистического анализа технологического процесса. На качественные характеристики микроэлектронных приборных структур существенное влияние оказывает формирование

межсоединений, metallизации и изоляции. Система межсоединений обеспечивает создание надежных и стабильных элементов, и воспроизводимость процесса получения многослойных систем, формирование межсоединений на основе материаловедческо-технологического подхода с учетом технологических, электрических и надежностных показателей, позволяет улучшить параметры приборных структур и обеспечивает их воспроизводимость. Применение материалов с высокой диэлектрической проницаемостью позволяет повысить толщину слоя диэлектрика и увеличить диэлектрическую проницаемость, что способствует уменьшению токов утечки. Снижение несовершенств при формировании межсоединений, metallизации и изоляции в микроэлектронных приборных структурах обеспечивает улучшение параметров и повышение характеристик интегральных элементов. Прослеживаемость взаимосвязи параметров приборных структур и технологии их изготовления позволяет обеспечить формирование структур с заданными параметрами и понизить уровень их дефектности.

Ключевые слова: структура; технология; процесс; надежность; параметр; формирование; анализ; воспроизводимость; качество.

In the technology of manufacturing microelectronic devices, especially in the production of products with submicron dimensions, various types of imperfections are possible, and the relationship between the parameters of the device structures themselves and the technology of their manufacture is increasing. The process of formation of device structures has a significant impact on the parameters of products. Increasing the role of control methods, identifying patterns and accuracy of technological

operations, establishing the relationship between the characteristics of the technological process and the yield of suitable products allows us to ensure the reproducibility of the technology and the formation of instrument structures with given parameters. When implementing the technology for creating products in production conditions, constructive and technological foundations are formed, under which the specified parameters are established. The reproducibility of the technology and ensuring the specified parameters of integrated electronics elements are achieved by carrying out a statistical analysis of the technological process. The quality characteristics of microelectronic device structures are significantly influenced by the formation of interconnections, metallization and insulation. The interconnection system ensures the creation of reliable and stable elements, and the reproducibility of the process of obtaining multilayer systems, the formation of interconnections based on a materials science and technological approach, taking into account technological, electrical and reliability indicators, allows improving the parameters of device structures and ensures their reproducibility. The use of materials with high dielectric constant makes it possible to increase the thickness of the dielectric layer and increase the dielectric constant, which helps reduce leakage currents. Reducing imperfections in the formation of interconnections, metallization and insulation in microelectronic device structures ensures improved parameters and increased characteristics of integrated elements. Traceability of the relationship between the parameters of device structures and their manufacturing technology makes it possible to ensure the formation of structures with specified parameters and reduce the level of their defectiveness.

Keywords: structure; technology; process; reliability; parameter; formation; analysis; reproducibility; quality.

Введение

Элементы интегральной электроники применяются в различных аппаратах, бытовой технике, средствах связи и в системах транспорта, обеспечивая высокую надежность их функционирования.

В технологическом процессе изготовления приборов, особенно при производстве субмикронными минимальными размерами, усиливается взаимосвязь между рабочими параметрами схемы собственно приборных структур и технологией их изготовления, что существенно при изготовлении элементов интегральной электроники, предназначенных для применения в различных системах с жесткими условиями эксплуатации – механические, тепловые, воздействие внешних климатических факторов.

В приборных структурах возможны различные виды несовершенств, влияющие на надежность их работы. Существенное влияние на параметры изделий оказывает процесс формирования приборных структур [1-9].

Важную роль в микроэлектронных приборных структурах играют системы межсоединений, металлизации и изоляции, которые влияют на качественные и функциональные характеристики элементов, параметры и их надежность [10-13]. Основными видами металлизации в элементах интегральной электроники являются: слои силицида, барьера-ного металла, поликремния; алюминия, многослойные системы.

Для металлизации в основном используют алюминий и золото. В сложных и больших интегральных элементах используют многослойную металлизацию на основе барьера-ных металлов – никеля и титана.

Формирование приборных структур с воспроизводимыми параметрами. Выходные характеристики изделий обеспечиваются при выработке основных концепций их создания. При реализации технологии создания изделий в производственных условиях формируются конструктивно-технологические основы, на которых в технологических и конечных испытаниях обслужива-ния их в эксплуатации устанавлива-

ются заданные параметры. Все эти виды работ по обеспечению заданных параметров на разных стадиях технологии изготовления и эксплуатации изделий объединяются интегральным планом и системой информации.

В ходе производственного процесса проводится анализ приборных структур. Для этого используются оптическая и электронная микроскопия, методы локального химического анализа. Проводят также анализ и исследование механизма отказов.

Для обеспечения заданных параметров элементов интегральной электроники и воспроизводимости технологии проводится статистический анализ технологического процесса. При статистическом анализе производится:

- первичная статистическая обработка;
- установление статистических связей параметров;
- определение закономерностей технологического процесса;
- построение регрессионных моделей связи выхода годных изделий и режимами технологических операций;
- анализ устойчивости технологического процесса.

Первичная статистическая обработка проводится для определения средних значений и дисперсий параметров, проверяется вид закона распределения. Корреляционный анализ проводится для установления взаимосвязей между характеристиками технологического процесса и выходом годных изделий. Выявление закономерностей технологического процесса проводят методами факторного анализа. После выявления взаимосвязей характеристик технологического процесса строятся регрессионные модели. Оценка технологии производства представляется с помощью линейной функции регрессии.

Уменьшение геометрических размеров элементов и рост степени интеграции вызывает необходимость повышения точности выполнения технологических операций и методов их контроля.

Интегральные показатели настройки технологического процесса

определяют по параметрам функционального элемента, а настройка и точность выполнения операций – по параметрам элементов физической структуры.

Для обеспечения точности технологического процесса производства используется статистическое регулирование, на основе измеренных значений параметров, и определения их положения относительно границ регулирования.

Формирование межсоединений, металлизации и изоляции в элементах интегральной электроники. На качество формирования металлизационных систем влияет электромиграция. С увеличением интеграции и с уменьшением размеров элементов при выполнении межсоединений сечение проводников уменьшается, сопротивление токоведущей дорожки возрастает, их суммарная длина растет. При масштабировании возможно возрастание волнового сопротивления, электромиграции, ухудшение характеристик межсоединений и т.д., при этом могут возникать трудности по прохождению сигнала по линии межсоединения.

В элементах большой степени сложности реализуются несколько уровней металлизированной разводки. Основной причиной отказов элементах интегральной электроники является нарушение металлизации.

В интегральных элементах большой степени интеграции число топологических элементов и их площадь в слоях металлизации значительны. При этом токи высокой плотности в структурах протекают в металлизированных соединениях.

С увеличением степени интеграции возрастает и сложность металлизированной разводки межсоединений. В элементах большой степени сложности необходима реализация нескольких уровней металлизированной разводки. Нарушение элементов металлизации является основной причиной отказов элементах интегральной электроники.

При разработке, проектировании, изготовлении металлизации необходимо учитывать определенные требования: технологические, электрические и надежностные.

К технологическим требованиям можно отнести:

- выбор металлов для контактных площадок, к которым присоединяются внешние выводы термокомпрессией или ультразвуковой сваркой;

- применение материалов с близкими по коэффициенту термического расширения к кремнию;

- селективность травления металлов и межслойных диэлектриков.

К электрическим требованиям можно отнести:

- падение напряжения в шинах питания значительно меньше логического перепада;

- минимальное влияние сопротивление контактов к полупроводниковым областям на параметры приборов;

- минимальное влияние емкости металлизированных соединений на быстродействие больших интегральных схем.

К требованиям надежности можно отнести:

- снижения рельефа структуры;

- устойчивость металлических соединений к электромиграции;

- минимизации площади разводки питающих напряжений;

- проведения пассивации схемы для предотвращения коррозии металла.

Технологические требования связаны с ограниченным выбором металла для межсоединений. В основном используются алюминий и сплавы на его основе. Для межсоединений применяется силицид платины, но он имеет высокое слоевое сопротивление. Использование в первом уровне разводки металлов, образующих силициды обеспечивает низкое контактное сопротивление к кремнию. Первый уровень разводки обеспечивает подсоединение активных и пассивных элементов к большой интегральной схеме.

В качестве межуровневых диэлектриков используются диоксид кремния и нитрид кремния, их применение под разными уровнями разводки позволяет сократить площадь перехода.

Рельеф структуры влияет на надежность системы металлизации. Так на уступах металл тоньше, сопротивление слоя выше, и интенсивнее идет электромиграция и сильнее образуются разрывы проводников.

Рельеф структуры влияет на первый уровень разводки.

Снижение влияния рельефа проводников первого уровня при разводке в структуре обеспечивается применением поликремния и силицида платины.

В устройствах на основе интегральной электроники для изоляции дорожек токоведущей металлизации друг от друга в многослойных системах и от полупроводниковых слоев и функциональных элементах полупроводникового устройства используют слои диэлектрика. При создании систем изоляции возникают определенные трудности технологического характера, так как с уменьшением геометрических размеров элементов интегральной электроники соответственно уменьшается толщина диэлектрика и появляются токи утечки. Применение диэлектриков с большой проницаемостью позволяет повысить толщину слоя диэлектрика и повысить диэлектрическую проницаемость вещества. Увеличение же слоя диэлектрика позволяет уменьшить токи утечки.

Применение материалов с большими значениями диэлектрической проницаемости позволяет уменьшить размеры электронного устройства при заданной частоте, устройства работают на меньших длинах волн с меньшими фазовыми скоростями. При этом плотность энергии электрического поля увеличивается. Материалы с большими значениями диэлектрической проницаемости обеспечивают малые размеры, лучшее качество соединений, меньшие потери на излучение.

Заключение. Формирование структур с заданными параметрами в значительной степени связано с совершенствованием технологии, методов анализа отказов и дефектов, методов контроля в производственном процессе. Прослеживаемость взаимосвязи параметров приборных структур и технологии их изготовления позволяет обеспечить формирование структур с заданными параметрами и понизить уровень их дефектности. Выявление физических причин деградации позволяет улучшить технологию изготовления и применения интегральных элементов в составе ради-

оэлектронных устройств и аппаратуры в целом.

Для межсоединений в интегральной электронике применяются металлы, образующие силициды. В качестве межуровневых диэлектриков используются диоксид кремния и нитрид кремния, их применение позволяет сократить площадь перехода. Снижение влияния рельефа проводников при разводке в структуре обеспечивается применением поликремния и силицида платины. Применение материалов с высокой диэлектрической проницаемостью позволяет повысить толщину слоя диэлектрика и диэлектрическую проницаемость вещества. Увеличение же слоя диэлектрика позволяет уменьшить токи утечки. Снижение несовершенств при формировании межсоединений, металлизации и изоляции в микроэлектронных приборных структурах обеспечивает улучшение параметров и повышение надежности и характеристик интегральных элементов.

Библиографический список

1. Bodde M.D. Silicon planar ACCUFET improved power MOSFET structure. // Electron Lett. 1989. vol. 36. no. 10. pp.913-915.
2. Alok D., Baliga B.J. High voltage (450V) 6H-SiC lateral MESFET structure. // Electron Lett. 1996. vol. 32. no. 20. pp.1929-1931.
3. Syau T., Venkatraman P., Baliga B.J. Extended trench-gate power UMOSFET structure with low specific on-resistance. // Electron. Lett. 1992. vol. 28. no. 9. pp.865-867.
4. Ajit J.S., Baliga B.J., Tandon S., Reisman A. The minority carrier injection-controlled field-effect transistor (MICFET): a new MOS-gated power transistor structure. // IEEE Transaction Electron Devices. 1992. vol. 39. no. 8. pp.1954-1960.
5. Baliga B.J. Power semiconductor devices for variable-frequency drives. // Proc. IEEE. 1994. vol. 82. no. 8. pp.1112-1122.
6. Averbuch A., Israeli M., Ravve I., and Yavneh I. Computation for electromigration in interconnects of microelectronics devices. // Journal of Computational Physics. 2001. vol. 167. pp.316-371.

7. Manghisoni M., Ratti L., Re L., Speziali V. Submicron CMOS Technologies for Low-Noise Analog Front-End Circuits. // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2002. vol. 49. no. 4. pp.1783-1790.

8. Manghisoni M., Ratti L., Re V., Speziali V., Traversi G. 130 and 90nm CMOS technologies for detector front-end applications. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2007. A572. pp.368-370.

9. Protic D., Krings T., Schleichert R. Development of Double-Sided Microstructured Si (Li) Detectors. // IEEE Trans, on Nuclear Science. 2002. vol. 49. no. 4.

10. Cabral C, Andricacos P.C., Cignac L.M. et al. Room temperature evolution of microstructure and resistivity in electroplated copper films. // Adv. Metallization Conf. Proc., ULSI XIV. 1998. vol. 81.

11. Plombon J. J, Andideh E., Dubin V. et al. Influence of phonon, geometry, impurity, and grain size on copper line resistivity. // Applied Physics Letters. 2006. vol. 89. P. 113124.

12. Josell D., Wheeler D., Huber W.H. et al. Superconformal Electrodeposition in Submicron Features. // Physical Review Letters. 2001. vol. 87.

13. Rosenberg R., Edelstein D.C., Hu C.-K. et al. Copper Metallization for

High Performance Silicon Technology. // Annu. Rev. Mater. Sci. 2000. vol. 30. pp. 229-262.

ственный технологический университет), доктор технических наук, профессор. Имеет научные труды.

Сведения об авторах:

Мустафаев Марат Гусейнович

Родился в 1986 году. Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», кандидат технических наук, доцент. Имеет научные труды.

Mustafaev Marat Guseinovich

Born in 1986. Place of work: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)", candidate of technical sciences, associate professor. Has scientific papers.

Мустафаева Джамиля Гусейновна

Родилась в 1979 году. Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», кандидат технических наук, доцент. Имеет научные труды.

Mustafaeva Dzhamilya Guseinovna

Born in 1979. Place of work: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)", candidate of technical sciences, associate professor. Has scientific papers.

Мустафаев Гусейн Абакарович

Родился в 1948 году. Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государ-

Mustafaev Gusein Abakarovich

Born in 1948. Place of work: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)", Doctor of Technical Sciences, Professor. Has scientific papers.

Целесообразность применения многокритериальной оптимизации для электрических двигателей электрического транспорта

// FEASIBILITY OF USING MULTICRITERIAL OPTIMIZATION FOR ELECTRIC MOTORS OF ELECTRIC TRANS-PORT //

Т. И. Петров,
Казанский государственный
энергетический университет,
г. Казань

В статье исследуется целесообразность применения многокритериальной оптимизации (МКО) для проектирования электрических двигателей синхронного типа с постоянными магнитами, используемых в электрическом транспорте. На основе математической модели двигателя мощностью 50 кВт анализируются три ключевых критерия: КПД, масса и стоимость. Исследование направлено на определение преимуществ и недостатков МКО по срав-

нению с традиционными однокритериальными методами с учетом КПД, массы и стоимости, а также количественную оценку эффективности подхода через сравнение целевых функций и анализ сбалансированности решений. В работе ставится задача разработать рекомендации для применения МКО в реальных инженерных задачах на основе численных расчетов.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, электрический двигатель, анализ, эффективность.

The article examines the feasibility of using multi-criteria optimization for de-signing permanent magnet synchronous electric motors used

in electric vehicles. Based on a mathematical model of a 50 kW engine, three key criteria are analyzed: efficiency, mass, and cost. The study is aimed at identifying the advantages and dis-advantages of multi-criteria optimization compared to traditional single-criteria methods, taking into account efficiency, mass, and cost, as well as at quantifying the effectiveness of the approach through a comparison of objective functions and an analysis of the balance of solutions. The paper aims to develop recommendations for using multi-criteria optimization in real engineering problems based on numerical calculations.

Keywords: multicriteria optimization, electric motor, analysis, efficiency.

Введение

Электрический транспорт (ЭТ) в последние десятилетия стал ключевым направлением развития автомобильной промышленности, что обусловлено глобальными усилиями по снижению выбросов углерода и переходу к устойчивым источникам энергии. Электрические двигатели являются центральным элементом электромобилей, такие как синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ), определяя их эффективность, дальность хода, динамические характеристики и общую стоимость эксплуатации. В условиях растущего спроса на электромобили – от компактных городских автомобилей до тяжелых коммерческих транспортных средств – проектирование электрических двигателей сталкивается с необходимостью учитывать множество факторов, таких как КПД, масса, стоимость производства, тепловые ха-

рактеристики и долговечность. Эти параметры часто конфликтуют друг с другом: например, повышение КПД может увеличить массу и стоимость двигателя, а снижение массы может негативно сказаться на его надежности. Традиционные методы оптимизации, ориентированные на один критерий, такие как максимизация КПД или минимизация затрат, не способны в полной мере удовлетворить сложные требования современного электрического транспорта.

Многокритериальная оптимизация (МКО) предлагает инновационный подход, позволяющий одновременно учитывать несколько целевых функций и находить компромиссные решения, которые сбалансированно отвечают различным требованиям. Этот метод особенно актуален для СДПМ, асинхронных двигателей и других типов силовых агрегатов, используемых в ЭТ, благодаря их широкому применению и потенциалу для улучшения характеристик. Приме-

нение МКО в проектировании электрических двигателей может привести к снижению энергопотребления, улучшению производительности и оптимизации затрат, что делает его перспективным инструментом в контексте текущих технологических и экологических вызовов.

Литературный обзор

Исследования в области оптимизации СДПМ для ЭТ активно развиваются последние десятилетия.

В статье [1] авторы проводят многокритериальное сравнение различных типов двигателей, включая синхронные с постоянными магнитами, асинхронные и бесщеточные двигатели постоянного тока. Исследование подчеркивает, что асинхронные двигатели лучше соответствуют основным требованиям силовой установки, в то время как синхронные с постоянными магнитами чаще используются производителями бла-

годаря высокой плотности мощности. В другой работе [2] анализирует технологию с использованием 11 критериев, включая эффективность торможения и плотность мощности. Статья демонстрирует, как МКО помогает классифицировать двигатели для работы с гибридными системами хранения энергии. В работе [3] подчеркивается, что повышение КПД СДПМ достигается за счет увеличения объема магнитов, что, однако, ведет к росту массы и стоимости. Авторы применили генетические алгоритмы для однокритериальной оптимизации КПД, достигнув значения 95%, но не учли экономические аспекты. В другом исследовании [4] был рассмотрен подход к минимизации массы СДПМ с использованием топологической оптимизации, что позволило сократить вес на 15%, но снизило КПД до 89%. Эти примеры иллюстрируют ограничения однокритериальных методов.

МКО в контексте СДПМ начала применяться относительно недавно. Авторы [5] предложили использовать метод Парето для оптимизации асинхронных двигателей, демонстрируя возможность выбора компромиссных решений между КПД и стоимостью. В статье [6] МКО была применена к СДПМ для электромобилей, где авторы выделили три ключевых критерия: КПД, масса и тепловые потери. Они использовали метод NSGA-II, что позволило построить множество Парето с более чем 100 вариантами решений. Однако такие исследования часто не оценивают эффективность МКО относительно традиционных подходов.

МКО является целесообразным инструментом для проектирования электрических двигателей электромобилей, обеспечивая баланс между конфликтующими параметрами [7-10]. Её применение особенно оправдано для СДПМ и асинхронных двигателей, где достигаются значительные улучшения в эффективности и снижении затрат. Однако для широкого внедрения необходимы дальнейшие исследования по упрощению вычислительных методов и интеграции с реальными данными испытаний [11-13].

Цель данной статьи – оценить целесообразность применения МКО

для проектирования на примере СДПМ мощностью 50 кВт, с учетом КПД, массы и стоимости, а также провести количественную оценку эффективности МКО по сравнению с однокритериальной оптимизацией.

Материалы и методы

Для анализа была выбрана модель СДПМ мощностью 50 кВт, типичного для электромобилей среднего класса. Оптимизация проводилась с учетом трех критериев:

1. КПД (η) – максимизация, измеряется в %.

2. Масса (m) – минимизация, измеряется в кг.

3. Стоимость (C) – минимизация, измеряется в условных единицах (у.е.).

Математическая модель

Модель ЭД основана на упрощенных физических зависимостях:

$$\text{КПД: } \eta = 95 - 0,02 \cdot P_{\text{loss}}$$

$$\text{Масса: } m = 20 + 0,5 \cdot V_{\text{mag}}$$

$$\text{Стоимость: } C = 1000 + 10 \cdot V_{\text{mag}} + 5 \cdot P_{\text{loss}}$$

Ограничения:

$$50 \leq V_{\text{mag}} \leq 150 \text{ (объем магнитов, см}^3\text{),}$$

$$0,5 \leq P_{\text{loss}} \leq 2,5 \text{ (потери мощности, кВт).}$$

Метод оптимизации

Применялся метод взвешенной суммы:

$$F = w_1 \cdot \eta - w_2 \cdot m - w_3 \cdot C \quad (1)$$

где w_1, w_2, w_3 – весовые коэффициенты ($0 \leq w_i \leq 1, w_1 + w_2 + w_3 = 1$).

Рассмотрены четыре сценария:

1. $w_1 = 0,6, w_2 = 0,2, w_3 = 0,2$ (приоритет КПД),

2. $w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,2$ (приоритет массы),

3. $w_1 = 0,2, w_2 = 0,2, w_3 = 0,6$ (приоритет стоимости),

4. $w_1 = w_2 = w_3 = 0,33$ (равные веса).

Численное решение выполнялось с шагом $\Delta V_{\text{mag}} = 10 \text{ см}^3$ и $\Delta P_{\text{loss}} = 0,1 \text{ кВт}$, всего 231 комбинация. Определялись оптимальные решения по максимуму F.

Оценка эффективности

Для оценки эффективности МКО результаты сравнивались с однокритериальной оптимизацией по КПД ($w_1 = 1, w_2 = 0, w_3 = 0$). Эффективность (E) вычислялась как относительное улучшение целевой функции F в сценариях МКО относительно базового значения F_{base} однокритериального подхода:

$$2) E = \frac{F - F_{\text{base}}}{|F_{\text{base}}|} \cdot 100\%$$

Дополнительно анализировалась сбалансированность решений по отклонению от идеальных значений критериев (максимальный КПД, минимальная масса и стоимость).

Результаты

В данном разделе представлены результаты численного анализа применения многокритериальной оптимизации (МКО) к модели СДПМ мощностью 50 кВт. Расчеты выполнены для 231 комбинации параметров V_{mag} (объем магнитов) и P_{loss} (потери мощности), что позволило оценить влияние различных сценариев приоритетов на КПД, массу и стоимость двигателя. Оптимальные решения определены методом взвешенной суммы, результаты сравнены с однокритериальной оптимизацией, а эффективность МКО оценена количественно.

Результаты для четырех сценариев МКО и однокритериальной оптимизации по КПД представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оптимальные решения для четырех сценариев

Сценарий	V_{mag} (см^3)	P_{loss} (кВт)	КПД (%)	Масса (кг)	Стоимость (у.е.)	F
Приоритет КПД	50	0.5	94,9	45	1525	51,33
Приоритет массы	50	2.5	90,5	45	1625	-6,5
Приоритет стоимости	50	2,5	90,5	45	1625	-240,5
Равные веса	50	1	93,9	45	1550	11,63
Однокр. (КПД)	50	0,5	94,9	45	1525	94,9

Сценарий с приоритетом КПД ($w_1 = 0,6, w_2 = 0,2, w_3 = 0,2$): достигнут максимальный КПД 94,9% при минимальных потерях мощности (0,5 кВт) и объеме магнитов (50 см³). Масса составила 45 кг, стоимость – 1525 у.е., а целевая функция $F = 51,33$. Это решение близко к однокритериальному подходу, но учитывает штрафы за массу и стоимость.

Сценарий с приоритетом массы ($w_1 = 0,2, w_2 = 0,6, w_3 = 0,2$): минимальная масса 45 кг достигнута при $V_{mag} = 50$ см³, однако высокие потери (2,5 кВт) снизили КПД до 90,5%. Стоимость выросла до 1625 у.е., а $F = -6,50$, что отражает негативное влияние низкого КПД.

Сценарий с приоритетом стоимости ($w_1 = 0,2, w_2 = 0,2, w_3 = 0,6$): аналогично приоритету массы, минимальная стоимость не достигается из-за фиксированного базового значения (1000 у.е.), но $F = -240,50$ показывает сильное влияние весового коэффициента стоимости.

Сценарий с равными весами ($w_1 = w_2 = w_3 = 0,33$): сбалансированное решение с КПД 93,9%, массой 45 кг и стоимостью 1550 у.е. ($F = 11,63$) демонстрирует компромисс между критериями.

Однокритериальная оптимизация: Фокус только на КПД дал максимальное значение 94,9% ($F = 94,9$), но игнорировал массу и стоимость.

Эффективность МКО (E) рассчитана как относительное изменение F относительно базового значения однокритериального подхода ($F_{base} = 94,9$) и представлена в таблице 2.

Сценарий с приоритетом КПД показал наименьшее снижение эффективности ($E = -45,9\%$), так как близок к базовому решению. Отклонение от идеальных значений равно нулю.

Сценарий с приоритетом массы и стоимости дал наибольшее снижение

($E = -106,8\%$ и $-353,5\%$), из-за значительного ухудшения КПД (4,6%) и роста стоимости (6,6%).

Равные веса обеспечили умеренное снижение ($E = -87,7\%$) с минимальными отклонениями (1,1% по КПД, 1,6% по стоимости), что подтверждает сбалансированность.

Сценарий с приоритетом КПД наиболее близок к реальным требованиям электромобилей, где энергоэффективность критична. Однако равновесный сценарий (равные веса) лучше подходит для массового производства, минимизируя отклонения от идеальных значений. Низкая эффективность по E в сценариях с приоритетом массы и стоимости указывает на ограниченную применимость таких решений без корректировки модели (например, снижения базовой стоимости).

Сравнение с литературой подтверждает выводы: авторы [1] достигали КПД 95%, но игнорировали массу, что не подходит для ЭТ. Авторы [2] минимизировали массу, жертвуя КПД, чего МКО избегает благодаря гибкости.

Преимущества МКО:

- Гибкость и сбалансированность решений.
- Возможность выбора приоритетов.
- Улучшение по сравнению с однокритериальными методами в реальных задачах.

Недостатки:

- Снижение эффективности по F относительно однокритериального подхода.
- Вычислительная сложность (231 комбинация).

Заключение

Результаты показывают, что МКО обеспечивает компромиссные ре-

шения, недоступные при однокритериальной оптимизации. Сценарий с приоритетом КПД ($\eta = 94,9\%$) близок к однокритериальному подходу, но эффективность $E = -45,9\%$ указывает на снижение общей целевой функции из-за учета массы и стоимости. Сценарий с равными весами ($\eta = 93,9\%, 45$ кг, 1550 у.е.) демонстрирует сбалансированность, хотя $E = -87,7\%$ ниже базового значения из-за меньшего акцента на КПД. Негативные значения E объясняются тем, что F_{base} ориентировано только на КПД, тогда как МКО штрафует решения за рост массы и стоимости.

Таким образом, МКО целесообразен для СДПМ в ЭТ, особенно если требуется баланс параметров. Оценка эффективности подчеркивает важность выбора весов в зависимости от конкретных целей проектирования.

Благодарность

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

Литература

1. El Hadraoui H., Zegrari M., Chebak A., Laayati O., Guennouni N. A Multi-Criteria Analysis and Trends of Electric Motors for Electric Vehicles // World Electric Vehicle Journal. – 2022. – Vol. 13, No. 4. – P. 65.
2. Rimpas D., Kaminaris S.D., Piromalis D.D., Vokas G., Arvanitis K.G., Karavas C.-S. Comparative Review of Motor Technologies for Electric Vehicles Powered by a Hybrid Energy Storage System Based on Multi-Criteria Analysis // Energies. – 2023. – Vol. 16, No. 6. – P. 2555.
3. Istenes G., Pusztai Z., Körös P., Horváth Z., Friedler F. Kriging-Assisted Multi-Objective Optimization Framework for Electric Motors Using

Таблица 2. Оценка эффективности МКО

Сценарий	F	F_{base}	Эффективность E (%)	Отклонение от идеала* (%)
Приоритет КПД	51,33	94,9	-45,9	0/0/0
Приоритет массы	-6,5	94,9	-106,8	4,6/0/6,6
Приоритет стоимости	-240,5	94,9	-353,5	4,6/0/6,6
Равные веса	11,63	94,9	-87,7	1,1/0/1,6

*Отклонение от идеальных значений: КПД = 94,9%, масса = 45 кг, стоимость = 1525 у.е.

Predetermined Driving Strategy // Energies. – 2023. – Vol. 16, No. 12. – P. 4713.

4. Gör Halil and Dalcalı Adem. Design and optimization of a high-performance multi-barrier IPMS motor for an electric scooter and bicycleR. Soc. Open Sci.11231650.

5. Bello, Y., Azib, T., Larouci, C. et al. Motor efficiency modeling towards energy optimization for two-wheel electric vehicle. Energy Efficiency 15, 16 (2022)

6. Petrov T., Safin A. Theoretical aspects of optimization synchronous machine rotors // E3S Web of Conferences. – Prague: EDP Sciences, 2020. – Vol. 178. – P. 01049.

7. Kinoti, E., Mosetlhe, T. C., & Yusuff, A. A. Multi-Criteria Analysis of Electric Vehicle Motor Technologies: A Review // World Electric Vehicle Journal. – 2024. – Vol. 15, No. 12. – P. 541.

8. C. Bhagubai, Pedro P., João G. Sarrico, João F. P. Fernandes, and P. J. Costa Branco. Design, Multi-Objective Optimization, and Prototyping of a 20 kW 8000 rpm Permanent Magnet Synchronous Motor for a Formula Student Electric Car // Energies. – 2020. – Vol. 13, No. 10. – P. 2465.

9. Y.Yang, Q. He, C. Fu, S. Liao, P.Tan, Efficiency improvement of permanent

magnet synchronous motor for electric vehicles // Energy, Volume 213, 2020, 118859.

10. Mahmoudabar, Farshid, and Nick J. Baker. Design Optimization of Induction Motors with Different Stator Slot Rotor Bar Combinations Considering Drive Cycle // Energies. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – P. 154.

11. Kassem, R., Sayed, K., Kassem, A. and Mostafa, R. (2020), Power optimisation scheme of induction motor using FLC for electric vehicle. IET Electr. Syst. Transp., 10: 301-309.

12. Herrera, D., Villegas, J., Galván, E. and Carrasco, J.M. (2019), Powertrain EV synchronous reluctance motor design with redundant topology with novel control. IET Electric Power Applications, 13: 1647-1659.

13. Safin A., Petrov T. Topological optimization of the rotors of permanent magnet synchronous motors // E3S Web of Conferences. – Saint-Petersburg: EDP Sciences, 2020. – Vol. 220. – P. 01040.

Петров Тимур Игоревич

Родился в 1993 году. В 2017 году окончил Казанский государственный энергетический университет по специальности 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника. В 2021

году защитил кандидатскую диссертацию по теме «Метод комплексной топологической оптимизации ротора синхронного электрического двигателя с постоянными магнитами», Опыт работы – 6 лет. В настоящее время работает доцентом кафедры электроснабжения промышленных предприятий Казанского государственного энергетического университета. Автор 111 научных работ, 15 результатов интеллектуальной деятельности, 5 учебно-методических пособий.

Petrov Timur Igorevich

Was born in 1993. In 2017, he graduated from Kazan State Power Engineering University, specializing in 13.04.02 Electric Power Engineering and Electrical Engineering. In 2021, he defended his PhD thesis on the topic "Method of complex topological optimization of the rotor of a synchronous electric motor with permanent magnets". Work experience – 6 years. Currently, he works as an associate professor at the Department of Power Supply of Industrial Enterprises of Kazan State Power Engineering University. Author of 111 scientific papers, 15 results of intellectual activity, 5 teaching aids.

Практические методы оценки состояния стартерных акб автомобилей

// PRACTICAL METHODS FOR ASSESSING THE CONDITION OF CAR STARTER BATTERIES //

Чебоксаров А.Н., к.т.н., доцент,
ФГБОУ ВО
«Сибирский государственный
автомобильно-дорожный
университет»
г. Омск

В статье представлены практические методы диагностики стартерных аккумуляторных батарей, используемых в автомобильной технике. Рассмотрены этапы проверки, включая внешний осмотр, измерение уровня и плотности электролита, контроль напряжения на клеммах, а также тестиро-

вание с применением нагрузочной вилки. Приведены критерии оценки состояния АКБ по результатам измерений, даны рекомендации по корректировке эксплуатационных параметров. Материал ориентирован на инженерно-технический персонал и направлен на повышение надёжности электрооборудования и электрических систем транспортных средств.

Ключевые слова: автомобиль, аккумуляторная батарея, напряжение, электролит, эксплуатация.

The article presents practical methods for diagnosing starter batteries used in automotive applications. The stages of inspection are examined, including visual assessment, measurement of electrolyte level and density, voltage monitoring at the terminals, and load testing using a battery tester. Criteria for evaluating battery condition based on measurement results are provided, along with recommendations for adjusting operational parameters. The material is intended for engineering and technical personnel and is aimed at improving the reliability of vehicle electrical equipment and systems.

Keywords: automobile, battery, voltage, electrolyte, operation

Введение

Автомобильный аккумулятор является ключевым элементом электрической системы транспортного средства. Его исправность напрямую влияет на запуск двигателя, работу электрооборудования и стабильность работы всей системы питания. Несмотря на надежность современных аккумуляторных батарей (АКБ), они подвержены естественному износу и могут выходить из строя по ряду причин.

Наиболее распространенные проблемы связаны с сульфатацией пластин, нарушением уровня и плотности электролита, окислением клемм, а также механическими повреждениями корпуса. Дополнительно на ресурс аккумулятора оказывают влияние температурные колебания, частые разряды и неправильные условия эксплуатации.

Регулярная диагностика позволяет своевременно выявлять отклонения от нормы, предотвращать глубокий разряд, оценивать остаточный ресурс батареи и повышать

ее срок службы. Основные этапы проверки аккумуляторной батареи включают:

- 1) Внешний осмотр корпуса и клемм на наличие повреждений и следов окисления;
- 2) Контроль уровня и плотности электролита в банках батареи;
- 3) Измерение напряжения на клеммах аккумулятора;
- 4) Проверка аккумулятора нагрузочной вилкой.

Применение этих методов диагностики позволяет оценить текущее состояние АКБ, выявить возможные неисправности и принять меры для их устранения, тем самым снижая риск отказа батареи в критический момент.

Внешний осмотр аккумулятора

В процессе эксплуатации на поверхности АКБ могут появляться следы загрязнений, влаги и утечек электролита. Эти факторы способствуют возникновению паразитных токов утечки, ускоряющих процесс саморазряда.

Регулярный визуальный осмотр помогает на раннем этапе обнаружить потенциальные неисправности и предотвратить их развитие. Для снижения риска утечек тока необходимо поддерживать поверхность аккумулятора в чистом состоянии.

Накопившиеся загрязнения и потёки электролита удаляются раствором пищевой соды (1 чайная ложка на стакан воды), который нейтрализующим кислотные остатки. Клеммы и их соединения следует очистить от окислов мелкозернистой наждачной бумагой и проверить надежность их крепления.

Наличие токов саморазряда (рисунок 1) определяется с помощью вольтметра. Для этого один щуп прибора подключают к клемме АКБ, а другим проводят по поверхности корпуса. Если на дисплее прибора появляется напряжение, это свидетельствует о наличии утечек тока, которые могут приводить к ускоренному разряду батареи.

Особое внимание следует уделить целостности корпуса аккумулятора. Наличие трещин или вздутий



Рис. 1. Измерение токов саморазряда

может свидетельствовать о механических повреждениях или внутренних дефектах, особенно в условиях низких температур, когда пластик становится более хрупким. Обнаружение подобных дефектов требует немедленного принятия мер по их устранению или замене АКБ.

Своевременный внешний осмотр и обслуживание аккумулятора обеспечивают его надежную работу и предотвращают неожиданные отказы в работе электрической системы автомобиля.

Контроль уровня и плотности электролита

Проверка уровня электролита осуществляется с использованием стеклянной уровнемерной трубы

(рисунок 2). Трубку вводят в заливное отверстие аккумулятора до соприкосновения с сепаратором, затем верхний конец зажимают пальцем и извлекают трубку. Высота столба жидкости в трубке отражает уровень электролита в банке. Нормальным считается уровень, находящийся на 10–12 мм выше верхней кромки пластин.

Снижение уровня электролита чаще всего обусловлено его испарением в процессе эксплуатации. В таких случаях необходимо долить дистиллированную воду до требуемого уровня. Добавление электролита допустимо только при уверенности, что снижение уровня произошло вследствие его утечки, а не испарения.

Плотность электролита измеряют с помощью ареометра (рисунок 3). Прибор вводят в заливное отверстие, и с помощью груши осуществляется забор электролита в колбу до свободного плавания поплавка. Показания снимаются по шкале ареометра на уровне поверхности жидкости. Плотность электролита зависит от температуры. Измерения следует проводить при температуре электролита 20–30 °C. При отклонении от этого диапазона необходимо вносить поправки согласно специальным таблицам (таблица 1).

Нормативное значение плотности электролита для полностью заряженного аккумулятора в умеренном климате составляет 1,27 г/см³. В холодных регионах оно повышается до 1,28–1,30 г/см³, а в тёплом клима-

Табл. 1. Поправка к показанию ареометра при измерении плотности при различной температуре

Температура электролита при измерении его плотности, °C	От -55 до -44	От -40 до -26	От -25 до -11	От -10 до 4	От 5 до 19	От 20 до 30	От 31 до 45	От 46 до 60
Поправка к показанию ареометра, г/см ³	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01	0,00	+0,01	+0,02

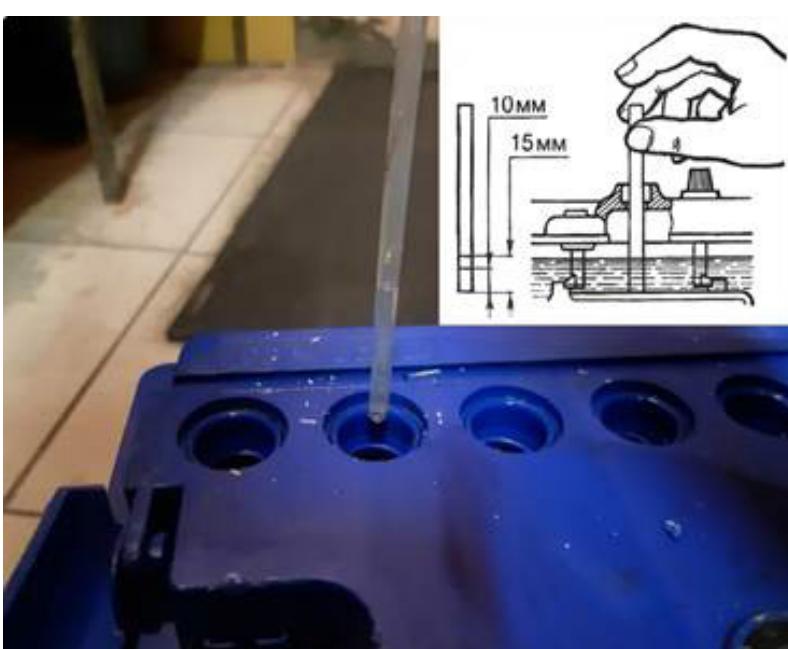


Рис. 2. Измерение уровня электролита

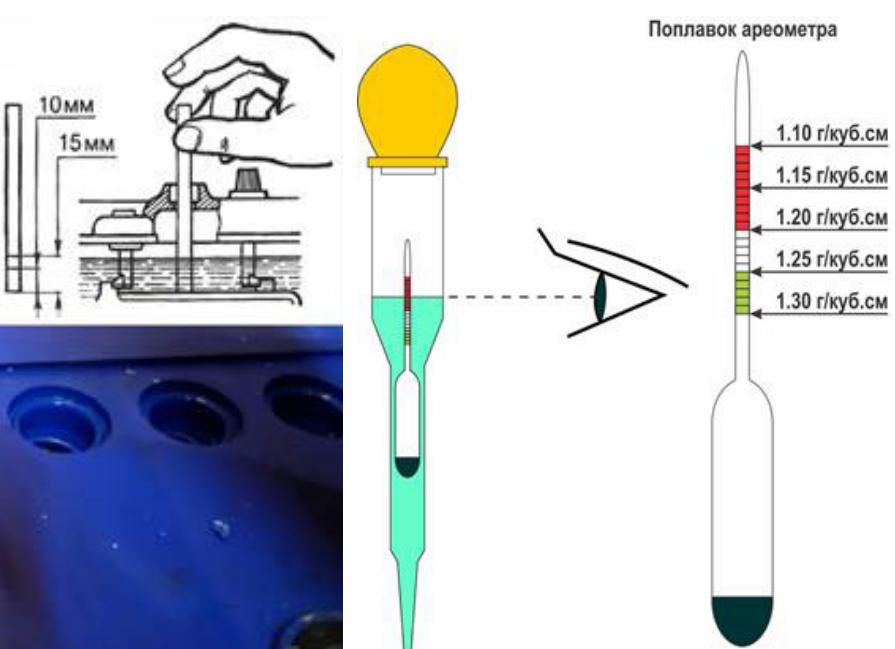


Рис. 3. Ареометр

те допустимым считается диапазон 1,23–1,25 г/см³. Понижение плотности на 0,01 г/см³ соответствует снижению заряда батареи примерно на 5–6%. Так, при плотности 1,22 г/см³ аккумулятор считается разряженным примерно на 30%. В таком случае требуется полная зарядка и повторная проверка.

Коррекция плотности выполняется в зависимости от выявленных отклонений. При снижении плотности при нормальном уровне электролита допускается добавление корректирующего электролита с повышенным содержанием кислоты. При избыточной плотности рекомендуется добавить дистиллированную воду. Важно производить подобные манипуляции только после полной зарядки аккумулятора и стабилизации температуры электролита.

Измерение напряжения на клеммах аккумулятора

Контроль напряжения на клеммах аккумуляторной батареи является важным этапом диагностики её состояния. Измерения проводятся с использованием мультиметра, позволяющего определить уровень заряда батареи и оценить эффективность работы генератора.

Для измерения напряжения используется вольтметр или мультиметр, настроенный на режим измерения постоянного напряжения. Перед началом процедуры необходимо убедиться, что двигатель авто-

Табл. 2. Зависимость степени заряженности АКБ от напряжения на холостом ходу (АКБ находится в покое не менее 24 часов) и в конце 5 секунды тестирования нагрузочной вилкой

Процент заряженности, %	100	75	50	25	0
Показания вольтметра на холостом ходу, В	> 12,7	12,5	12,3	12,1	< 11,9
Показания вольтметра в конце 5 секунды тестирования нагрузочной вилкой, В	> 10,2	9,6	9,0	8,4	< 7,8

мобиля заглушен, а все потребители электроэнергии обесточены. Это обеспечит точность измерений, исключив влияние внешних факторов.

Полностью заряженный аккумулятор должен показывать напряжение не менее 12,6 В. Если измеренное значение составляет менее 12 В, это свидетельствует о снижении заряда более чем на 50 %, и аккумулятор требует срочной подзарядки. Допускать глубокий разряд батареи крайне нежелательно, так как это может привести к сульфатации пластин и сокращению срока службы аккумулятора.

Проверка аккумулятора нагрузочной вилкой

Проверка аккумуляторной батареи (АКБ) с использованием нагрузочной вилки позволяет оценить её способность выдерживать пусковые токи и выявить скрытые дефекты, не обнаруживаемые при стандартных измерениях напряжения.

Нагрузочная вилка представляет собой прибор, имитирующий крат-

ковременную нагрузку, аналогичную той, которую создаёт стартер при запуске двигателя. Это позволяет оценить поведение аккумулятора в условиях, близких к реальным эксплуатационным.

Перед проведением тестирования необходимо полностью зарядить аккумулятор и отключить его от бортовой сети автомобиля. Клеммы батареи следует очистить от загрязнений и окислов для обеспечения надёжного контакта. Щупы нагрузочной вилки подключают к соответствующим клеммам аккумулятора: положительный – к плюсовой, отрицательный – к минусовой.

После подключения активируется нагрузка, и в течение 5 секунд фиксируется показание вольтметра. Если напряжение под нагрузкой опускается ниже 10 В, это свидетельствует о сниженной ёмкости или внутреннем повреждении аккумулятора (таблица 2). В таком случае рекомендуется провести дополнительную диагностику или заменить батарею.

Современные модели нагрузочных вилок, такие как НВ-03, оснащены цифровыми дисплеями и позволяют более точно измерять параметры аккумулятора (рисунок 4). Некоторые приборы также предоставляют возможность тестирования отдельных элементов батареи и оценки состояния генератора и стартера.

Использование нагрузочной вилки обеспечивает объективную оценку работоспособности аккумулятора и позволяет своевременно выявить потенциальные проблемы, предотвращая неожиданные отказы в работе электрической системы автомобиля.

Заключение

Проверка технического состояния аккумуляторной батареи – важ-



Rис. 4. Измерение напряжения АКБ нагрузочной вилкой НВ-03

ная составляющая регламентного обслуживания автомобиля. Своевременный контроль уровня и плотности электролита, измерение напряжения на клеммах, а также тестирование под нагрузкой позволяют не только объективно оценить остаточный ресурс АКБ, но и предотвратить отказ в критических условиях эксплуатации.

Комплексная диагностика даёт возможность своевременно выявить деградацию элементов батареи, отклонения в зарядном режиме и признаки саморазряда. Регулярное выполнение описанных процедур способствует продлению срока службы аккумулятора и повышает общую надёжность электрической системы транспортного средства.

Библиографический список

1. Хрусталев Д.А. Аккумуляторы / Д.А. Хрусталев. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.

2. Курзуков Н.И. Аккумуляторные батареи. Краткий справочник / Н.И. Курзуков, В.М. Ягнятинский. – М.:

ООО «Книжное издательство «ЗА рулем» 2006. – 88 с.

3. Шаманов Р.С. Проблемы эксплуатации и обслуживания автотракторных аккумуляторных батарей / Р.С. Шаманов, А.В. Лахно, Е.В. Новиков // Наука без границ. – М. 2020. № 4 (44). С. 61-67.

4. Как проверить аккумулятор автомобиля // Основы электроники. – 2021. – URL: <https://www.sxemotekhnika.ru/zhurnal/kak-proverit-akkumuliator-avtomobilja.html> (дата обращения: 30.04.2025).

Чебоксаров Алексей Николаевич

Родился в 1985 году. В 2007 году окончил Сибирскую государственную автомобильно-дорожную академию (СибАДИ) по специальности «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (строительные, дорожные и коммунальные машины)». В 2011-м году защитил кандидатскую диссертацию по теме «Совершенствование технических средств диагностирования двигателей силовых установок и гидроагрегатов дорожно-строи-

тельных машин». В настоящее время работает доцентом кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета». Опыт работы – 14 лет. Имеет 4 патента, 48 научно-технические статьи.

Cheboksarov Alexey Nikolaevich

Born in 1985. In 2007, he graduated from the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI) with a degree in "Service of transport and technological machines and equipment (construction, road and municipal machines)." In 2011, he defended his PhD thesis on the topic "Improving technical means for diagnosing engines of power plants and hydraulic units of road-building machines." Currently he works as an associate professor at the Department of Automotive Transport of the Siberian State Automobile and Highway University. Work experience – 14 years. He has 4 patents, 48 scientific and technical articles.

Модернизация контактной сети и тяговых подстанций для высокоскоростного движения

// MODERNIZATION OF THE CONTACT NETWORK AND TRACTION SUBSTATIONS
FOR HIGH-SPEED TRAVEL //

Дербенев А. Е.,
аспирант, Российский
университет транспорта (РУТ),
г. Москва

Статья посвящена теме модернизации контактной сети и тяговых подстанций постоянного тока для высокоскоростного движения поездов скоростью до 400 км/ч и их развития, и адаптации в будущем.

Высокоскоростные железные дороги (ВСМ) представляют собой сложные технические системы и подсистемы, которые включают в себя инфраструктуру, подвижной состав и системы управления. Проектирование и эксплуатация таких систем требуют учета множества факторов, включая организацию эксплуатации, техническое обслуживание систем и устройств, а также финансовые, коммерческие, экологические, социальные и управленические аспекты.

Предоставлен сравнительный и качественный анализ разных состояний контактных подвесок. Предоставлена схема с основными требованиями для тяговых подстанций. В результате, продемонстрированы параметры и показатели комплекс-

ных решений, которые помогут доказать, что модернизация тяговых подстанций и контактных сетей необходима. Благодаря инженерным решениям возможно будет обеспечить устойчивую работу контактной сети и тяговых подстанций в условиях повышенных динамических и энергетических нагрузок. Предложенные решения не только отвечают современным мировым трендам, но и адаптированы к специфическим условиям России, сочетающей инновационные технологии с программами импортозамещения.

Ключевые слова: Контактная сеть, высокоскоростное движение поездов, контактные провода, тяговые подстанции, динамические и энергетические нагрузки.

The article is devoted to the modernization of the contact network and DC traction substations for high-speed train speeds up to 400 km/h and their development and adaptation in the future.

High-speed railways (HSR) are complex technical systems and subsystems that include infrastructure, rolling stock, and control systems. The

design and operation of such systems requires consideration of many factors, including the organization of operation, maintenance of systems and devices, as well as financial, commercial, environmental, social and managerial aspects.

A comparative and qualitative analysis of different states of contact suspensions is provided. A diagram with basic requirements for traction substations is provided. As a result, the parameters and indicators of integrated solutions have been demonstrated, which will help prove that modernization of traction substations and contact networks is necessary. Thanks to engineering solutions, it will be possible to ensure the stable operation of the contact network and traction substations in conditions of increased dynamic and energy loads. The proposed solutions not only meet modern global trends, but are also adapted to the specific conditions of Russia, combining innovative technologies with import substitution programs.

Key words: Contact network, high-speed train movement, contact wires, traction substations, dynamic and energy loads.

Введение

Высокоскоростное движение представляет собой значительный этап в эволюции железнодорожного транспорта, способствующий увеличению экономической активности и развитию промышленного сектора. Железнодорожный транспорт, способный развивать скорости от 200 до 350 км/ч, демонстрирует высокую экономическую эффективность, конкурентоспособность и минимальное воздействие на окружающую среду. В связи с этим возникает необходимость в модернизации инфраструк-

туры, включая контактные сети и тяговые подстанции, для обеспечения безопасного и эффективного движения поездов на скоростях до 400 км/ч. В настоящее время в России активно развивается высокоскоростное движение, что отражено в «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» и Указе Президента Российской Федерации «О мерах по организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации».[3] Одним из ключевых направлений развития ВСМ является модернизация контакт-

ной сети, которая должна обеспечить передачу электроэнергии необходимой мощности к электроподвижному составу, гарантировать безопасность движения и удовлетворительное качество токосъема на высоких скоростях. В данной статье рассматриваются возможности модернизации сети тяговых подстанций и контактной сети для обеспечения скоростного движения до 400 км/ч. Особое внимание уделяется инновационным техническим решениям и материалам, которые обеспечивают надежность и эффективность контактной сети в сложных условиях эксплуатации.[2]

В качестве **материалов и методов** используются различные модели, созданные в программе Matlab Simulink, а именно модели контактной сети, которые будут использоваться для скоростей движения выше 350 км/ч, с определенным набором инженерных решений и подсчетами подходящих статических и динамических данных и показателей из условий надежного, экономично-го токосъема. Проведены исследование ключевых методов и технологий, которые могут быть использованы для модернизации контактных сетей и тяговых подстанций с целью повышения их эффективности и соответствия требованиям высокоскоростного движения. [4] В рамках статьи будет рассмотрен анализ существующих подходов совершенствования этих элементов инфраструктуры.

Данный **литературный обзор** охватывает ключевые аспекты, касающиеся проектирования, эксплуатации и усовершенствования инфраструктуры высокоскоростных железных дорог (ВСМ).

Так, например, такие страны как Китай, Япония, Германия демонстрируют успешные решения для контактной сети и подстанций:

- Внедрение биметаллических проводов (сечение 150–170 мм^2) позволило снизить сопротивление на 20% и повысить долговечность
- Использование гибких токоприёмников с углеродными поло-

зами уменьшило износ контактной сети на 35%

- Система динамического натяжения проводов компенсирует температурные деформации
- Подстанции с SiC-инверторами (КПД 99%) сократили энергопотери на 25%[1]

Основной компонент контактной сети – это контактная подвеска, представляющая собой систему проводов, предназначенную для передачи электрической энергии от тяговых подстанций к электроподвижному составу (ЭПС) через скользящие контакты с токоприемниками. При проектировании высокоскоростной контактной подвески одной из самых сложных задач является обеспечение надежного контакта между токоприемниками и контактным проводом. [5] В ситуациях, когда токоприемник теряет контакт с проводом или сила прижатия оказывается недостаточной, возникает электрическая дуга. Это явление приводит к ускоренному электрическому износу контактирующих элементов и снижает эффективность работы тягового оборудования ЭПС. В то же время, чрезмерное давление на контактный провод может вызвать механический износ, а также создать риск подъема провода на недопустимую высоту, что чревато зацеплением токоприемника за отдельные элементы конструкции контактной подвески.

После анализа исследований, предоставлены результаты основных требований для тяговой подстанции (рис.1). А также указаны положительные изменения после модернизаций контактной сети и тяговых подстанций.

Был произведен динамический анализ контактной подвески для высокоскоростного движения. Сделана оценка и качество токосъема, и минимизация аэродинамических колебаний проводов. Для проверки данной подвески (род тока постоянный, напряжение в сети повышенено до 24 кВ) было использовано программное моделирование в Matlab Simulink. В результате было выявлено, что при скорости близкой к 400 км/ч амплитуда вертикальных колебаний не превысила и 15мм (при допустимом пороге – 20мм). Применение данной цепной подвески с шагом около 55м снижает еще и аэродинамические возмущения на 18% по сравнению с классической подвеской (шаг 65м). Так же было доказано, что можно использовать биметаллические провода (сечение 150 мм^2), что позволит снизить электрические потери на 22%. А также, увеличит срок службы проводов на 30% благодаря устойчивости их к коррозии и износу.

Кроме того, был рассчитан и срок окупаемости модернизации тяговых подстанций. Был произведен анализ эксплуатационных расходов за 10 лет,



Рис.1 Основные требования для тяговой подстанции

а еще были сравнены затраты на оборудование. (В модернизированных тяговых подстанциях используются SiC – модули, а не как в традиционных IGBT – модули). В результате получаем, что затраты на SiC-модули(преобразователи) выше на 25%, но КПД при этом повышается, до 98,5% (против 95% у традиционных). Так же снижаются энергопотери на 30%, что сокращает ежегодные расходы на 12 млн. рублей на каждой тяговой подстанции. Срок окупаемости у данной тяговой подстанции, около 7–8 лет. Внедрение SiC – технологий экономически выгодно и целесообразно.

Еще одно из исследований это качество и долговечность биметаллических проводов (определение критического ресурса проводов в условиях их интенсивного износа), которые уже стали использовать при строительстве ВСМ в России.

Было произведено сравнение с аналогами из меди (МФ-100, провод медный, фасонный, номинальное сечение 100мм²)

В результаты получаем, что биметаллические провода имеют износ 0,05 мм/год в то время, как медные целых 0,12 мм/год, что уже лучше, больше чем на 50%. Благодаря этому увеличивается и срок службы данных проводов до 40 лет (а у медных 25 лет).

Проведено сравнение с зарубежными аналогами (Япония, Китай).

Российская система адаптивного натяжения превосходит Китайскую на 15%. КПД наших SiC – преобразователей соответствует Японским стандартам, но стоимость ниже на 18% за счет оптимизированной системы охлаждения

Обсуждение

Проведенное исследование подчеркивает, что обновление контактной сети и тяговых подстанций является важнейшим шагом для внедрения высокоскоростного движения в России. Результаты работы демонстрируют значительный потенциал предложенных подходов, однако их реализация требует учета различных технологических и экономических аспектов. В условиях российского климата особое значение приобретает адаптивная система натяжения, которая помогает

компенсировать резкие изменения температур. Этот аспект не получил должного внимания в зарубежных исследованиях, что выделяет его как новаторский элемент. Эффективность SiC-преобразователей, достигающая КПД 98,5%, сопоставима с японскими аналогами, однако их широкое использование в России затруднено из-за зависимости от импорта полупроводниковых модулей. [8] Одним из значительных достижений стало внедрение гибридных накопителей энергии, которые могут рекуперировать до 38% энергии, потерянной при торможении. Этот показатель превышает европейские результаты, где аналогичные системы обеспечивают сохранение до 35%, что подтверждает перспективность выбранного сочетания суперконденсаторов и LiFePO4-батарей. Однако исследование сталкивается с ограничениями из-за отсутствия долгосрочных данных о работе модернизированной инфраструктуры в условиях суровых зимних температур. Например, система антиобледенения, продемонстрировавшая свою эффективность на испытательных участках, нуждается в проверке в многолетнем цикле, особенно в таких регионах, как Сибирь и Дальний Восток.

Заключение

Проведенный анализ подчеркивает важность модернизации контактной сети и тяговых подстанций для успешного внедрения высокоскоростного движения в России. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение современных технологий, таких как адаптивные системы натяжения и гибридные накопители энергии, не только улучшает работу инфраструктуры, но и значительно снижает потери энергии. [7] Экономические расчеты показывают, что срок окупаемости предложенных модернизаций соответствует международным стандартам. Тем не менее, для успешной реализации этих проектов необходимо активное привлечение инвестиций и государственных субсидий. Опыт Китая, где аналогичные инициативы успешно осуществляются путем масштабирования технологий, подчеркивает необходимость развития отечествен-

ного производства ключевых компонентов, включая биметаллические провода и SiC-модули. Таким образом, результаты исследования подтверждают актуальность и необходимость дальнейших усилий по внедрению предложенных технологий. Это, в свою очередь, будет способствовать созданию эффективной и надежной инфраструктуры для высокоскоростного движения в нашей стране.

Список литературы

1. Бадёр М. П. Электромагнитная совместимость. Учебник для студентов высших технических учебных заведений. – М.: УМК МПС РФ, 2002 г., 640 с.
2. Вологин В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети / В. А. Вологин. М.: Интекст, 2006 г., 256 с.
3. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
4. Иванов А.А., Смирнов П.В. Климатическая адаптация контактной сети высокоскоростных магистралей России // Транспортные системы. – 2022. – № 4. – С. 45-58.
5. Петров В.И., Козлов Д.А. Разработка отечественных SiC- преобразователей для тяговых подстанций // Железнодорожный транспорт. – 2023. – Т. 12, № 3. – С. 22-30.
6. Сидоров С.К. Цифровизация тяговых подстанций: опыт внедрения IoT и AI // Инновации на транспорте. – 2021. – № 6. – С. 15-24.
7. Chen L, Wang H. Composite materials in overhead catenary systems: A review // IEEE Transactions on Transportation Electrification. – 2022. – Vol. 8, № 2. – P. 120-135.
8. Kato H., Nakamura Y. Dynamic tension control in high-speed railways // Journal of Rail Engineering. – 2019. – Vol. 45, № 1. – P. 34-42.

Дербенев Артем Евгеньевич

Аспирант, Российской университет транспорта (РУТ), г. Москва

Derbenev Artem Evgenievich

Postgraduate student, Russian University of Transport (RUT), Moscow

Формирование акустической обстановки в кабине экипажа

// FORMATION OF AN ACOUSTIC ENVIRONMENT IN THE COCKPIT //

**Попов Ю. В., д.т.н.,
ФГБУ «Центральный
научно-исследовательский
институт военно-космических
сил Министерства
обороны РФ»
г. Москва**

**Андреев Е. В.,
научный сотрудник**

Статья посвящена акустической обстановке в кабине экипажа, которая регистрируется бортовым устройством звукозаписи. Данная историческая справка о создании бортовых устройств регистрации.

Интерес к акустической обстановке в кабине экипажа на воздушном судне (ВС) возникло давно. Звуковая информация позволяет установить или уточнить обстоятельства, которые имеют значение для анализа полета. Поэтому специалисты стремились получить данные об акустической обстановке в кабине экипажа для этого были разработаны бортовые устройства звукозаписи (БУЗ). БУЗ в результате записи акустической обстановки формирует фонограмму на носителе информации.

Приведена классификация бортовых устройств звукозаписи. В статье указывается, что основным устройством, воспринимающим акустическую обстановку в кабине экипажа, является открытый микрофон. Приведены типы открытых микрофонов и их размещение в кабине воздушного судна. Совокупность акустических событий, запечатленных на фонограмме, образуют акустическую обстановку.

Ключевые слова: акустическая обстановка, воздушное судно, кабина экипажа, фонограмма, открытый микрофон.

This article examines the acoustic environment in the cockpit, as recorded by onboard sound recording devices. A historical overview of the development of onboard sound recording devices is provided. A classification of onboard audio recording devices is presented. The article indicates that the primary device for capturing the acoustic environment in the cockpit is the open microphone. The types of open microphones and their placement in the aircraft cabin are presented. The set of acoustic events captured on the recording constitutes the acoustic environment.

Key words: acoustic environment, aircraft, cockpit, soundtrack, open microphone.

БУЗ в своем развитии прошли путь от регистратора с механическим принципом записи до регистраторов с электронным принципом записи с твердотельным накопителем информации.

В 1939 году был выдан патент на устройство звукозаписи, которое должно было регистрировать акустическую обстановку в кабине экипажа с помощью открытого микрофона [1]. В качестве носителя информации использовался цилиндр. Регистрирующее устройство с носителем записи

размещался в защитном контейнере, который должен был устраиваться в хвостовой части ВС (см. рисунок 1). Идея записи на цилиндр себя не оправдала и поэтому не была реализована.

Магнитная звукозапись получила широкое использование только после изобретения магнитной ленты, хотя магнитная запись была изобретена в 1898 году [2]. На ВС использование магнитной звукозаписи начало осуществляться с 1961 года. В этом году был получен патент на регистрацию звука в кабине [3]. На рисунке 2 приведена схема установки БУЗ с магнитным принципом записи на ВС.

В 1984 году в качестве носителей информации появилась флэш-память, на основе которых были созданы твердотельные носители информации с электронным принципом записи. Твердотельные носители информации стали применяться в качестве носителя информации записи в БУЗ [4]. Твердотельный носитель информации обладает следующими преимуществами по сравнению с ленточными носителями:

- нет движущихся механических частей;

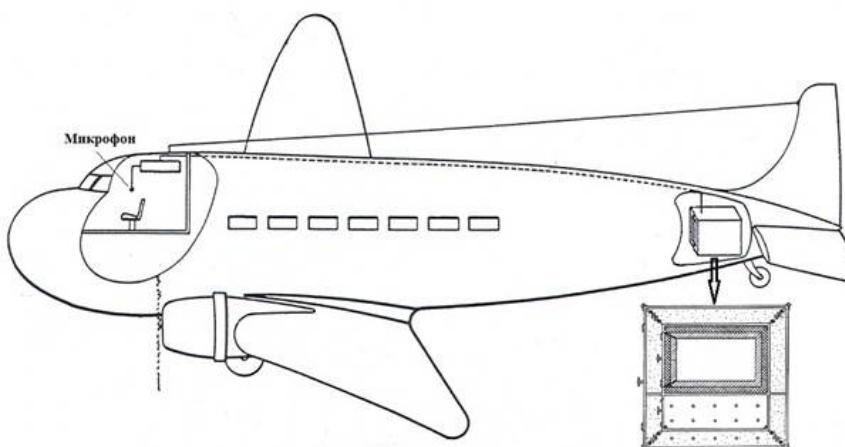


Рисунок 1. Бортовое устройство звукозаписи с механическим принципом записи

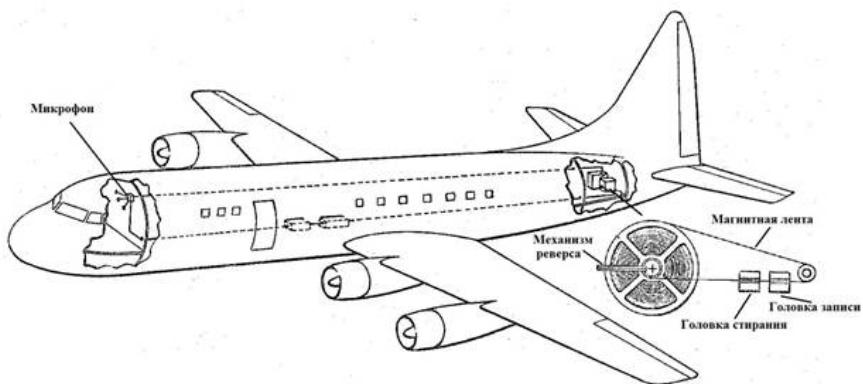


Рисунок 2. Бортовое устройство звукозаписи с магнитным принципом записи

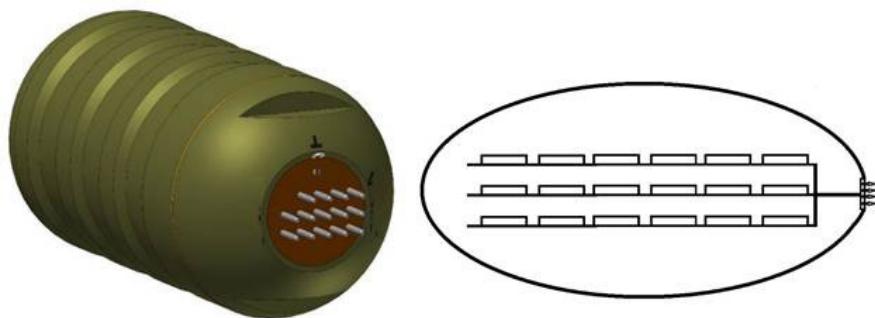


Рисунок 3. Модуль памяти твердотельного накопителя БУЗ



Рисунок 4. Размещение БУЗ с твердотельным накопителем информации

- долговечность и надежность;
- быстродействия;
- энергопотребления;
- легче и компактнее.

На рисунке 3 приведен модуль памяти твердотельного накопителя БУЗ.

На рисунке 4 приведена схема размещения БУЗ с твердотельным накопителем на борту.

Классификация БУЗ осуществляется по принципу записи и количеству каналов регистрации звуковой информации. На рисунке 5 приведена классификация БУЗ.

В таблице 1 приведены основные технические характеристики БУЗ.

На рисунке 6 приведена схема взаимодействие аппаратуры радиосвязи ВС и БУЗ.

Аппаратура радиосвязи ВС состоит:

- связных радиостанций, которые разделяются на две основные группы: самолетные (бортовые) и аэродромные (наземные). Радиостанции каждой группы в свою очередь могут быть разделены на коротковолновые (КВ) и ультракоротковолновые (УКВ);

- аварийной радиостанции, которая используется членами экипажа для подачи сигналов бедствия с места вынужденного приземления;

- самолетного переговорного устройства (СПУ). СПУ предназначено для внутривертолетной телефонной радиосвязи между членами экипажа в одной сети, подачи экипажу сигналов специального назначения (звуковой сигнал "Опасная высота" и речевые сообщения бортового информатора);

- речевой информатор. Речевой информатор представляет собой специальный магнитофон и предназначен для оповещения экипажа ВС и персонала наземного КП об аварийных ситуациях в полете голосом;

Рисунок 5. Классификация БУЗ



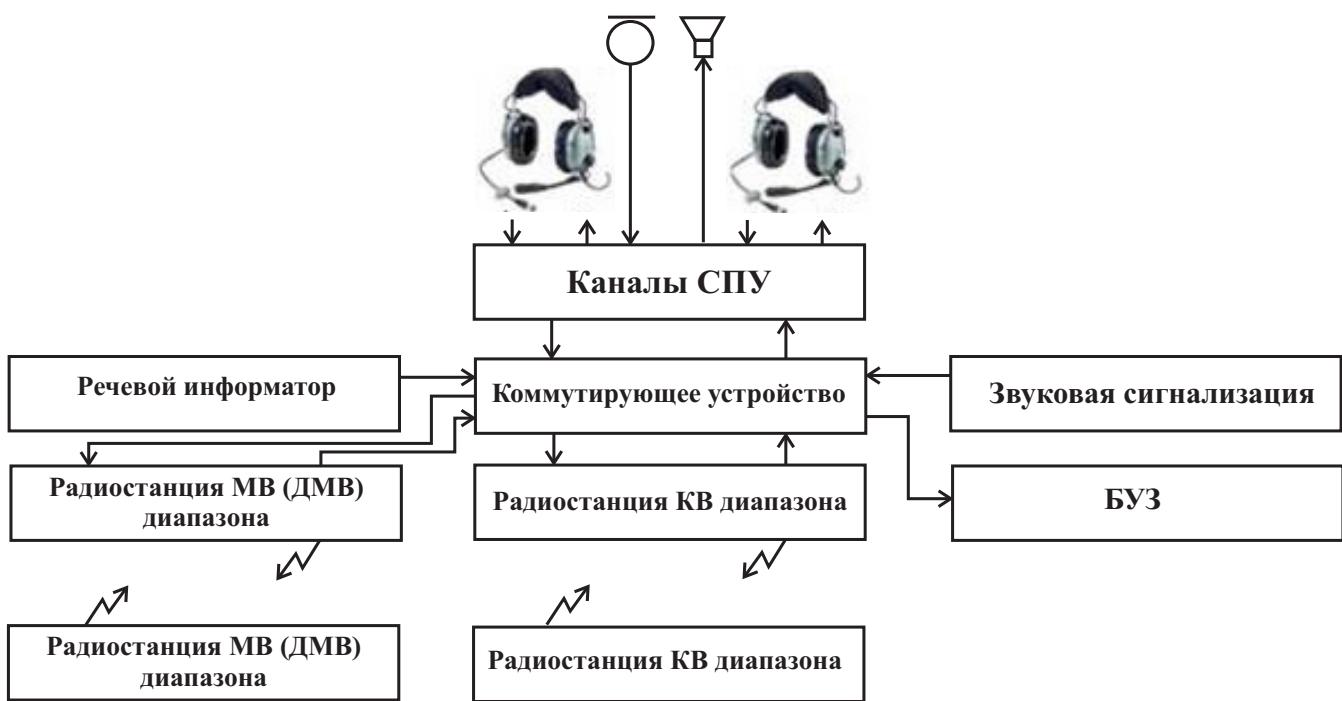


Рисунок 6.

Таблица 1. Основные технические характеристики БУЗ

Тип БУЗ	Год разработки или применения	Принцип записи	Вид записи	Носитель информации	Количество каналов записи	Время со-храняемой записи
Самолетный магнитофон МС-61 Завод «Вильма» г. Вильнюс	1961	магнитный	аналоговый	проводка типа ЭИ-708 и ЭИ-708А	1	5.5 час (реверса нет)
Магнитофон бортовой П-503Б (Б3, БС) Завод «Вильма» г. Вильнюс	1965	магнитный	аналоговый	проводка типа ЭИ-708 и ЭИ-708А	1	11 часов с реверсом
Бортовой магнитофон П-507-ЗБС ОАО НИИ «Электромеханических приборов» г. Киев	1996	магнитный	аналоговый	лавсановая магнитная лента	4	3 часа
Бортовое средство сбора звуковой информации МАРС-БМ Завод «Вильма» г. Вильнюс	1984	магнитный	аналоговый	лавсановая магнитная лента	4	30 мин
РЗБН-1 НПО Прибор г. Санкт-Петербург	2000	электронный	цифровой	флэш-память	4	2 час
П-503М Завод им. Г.И. Петровского г. Н.Новгород	2002	электронный	цифровой	флэш-память	5	12 час
П-507М Завод им. Г.И. Петровского г. Н.Новгород	2004	электронный	цифровой	флэш-память	5	12 час
Система регистрации бортовой информации ЗБН-ГА АО «Авиавтоматика» им. В.В. Тарасова»	2004	электронный	цифровой	флэш-память	4	2 час

Таблица 2. Типы открытых микрофонов, установленных на воздушных судах

Тип ВС	Регистратор	Тип открытого микрофона	Общая звуковая обстановка в кабине экипажа	Рисунок установки открытого микрофона в кабине ВС
Ил-76	Марс-БМ	МДМ-5	Общая звуковая обстановка в кабине экипажа, записываемая с четырех микрофонов на рабочих местах пилотов, штурмана и радиста	7
Ил-86	Марс-БМ	МДМ-5	Общая звуковая обстановка в кабине экипажа, записываемая с четырех микрофонов на рабочих местах членов экипажа	8
Ил-96	Марс-БМ	МДМ-5	Общая звуковая обстановка в кабине экипажа, записывается с трех микрофонов на рабочих местах членов экипажа	9
Ту-154М	Марс-БМ	МДМ-5	Общая звуковая обстановка в кабине экипажа, записывается с двух микрофонов на рабочих местах командира и инженера	10
Ту-204	Марс-БМ	МДМ-5	Информация с микрофона на среднем пульте пилота	11
Ту-214	Марс-БМ	МДМ-5	Информация с микрофона на среднем пульте пилота	11

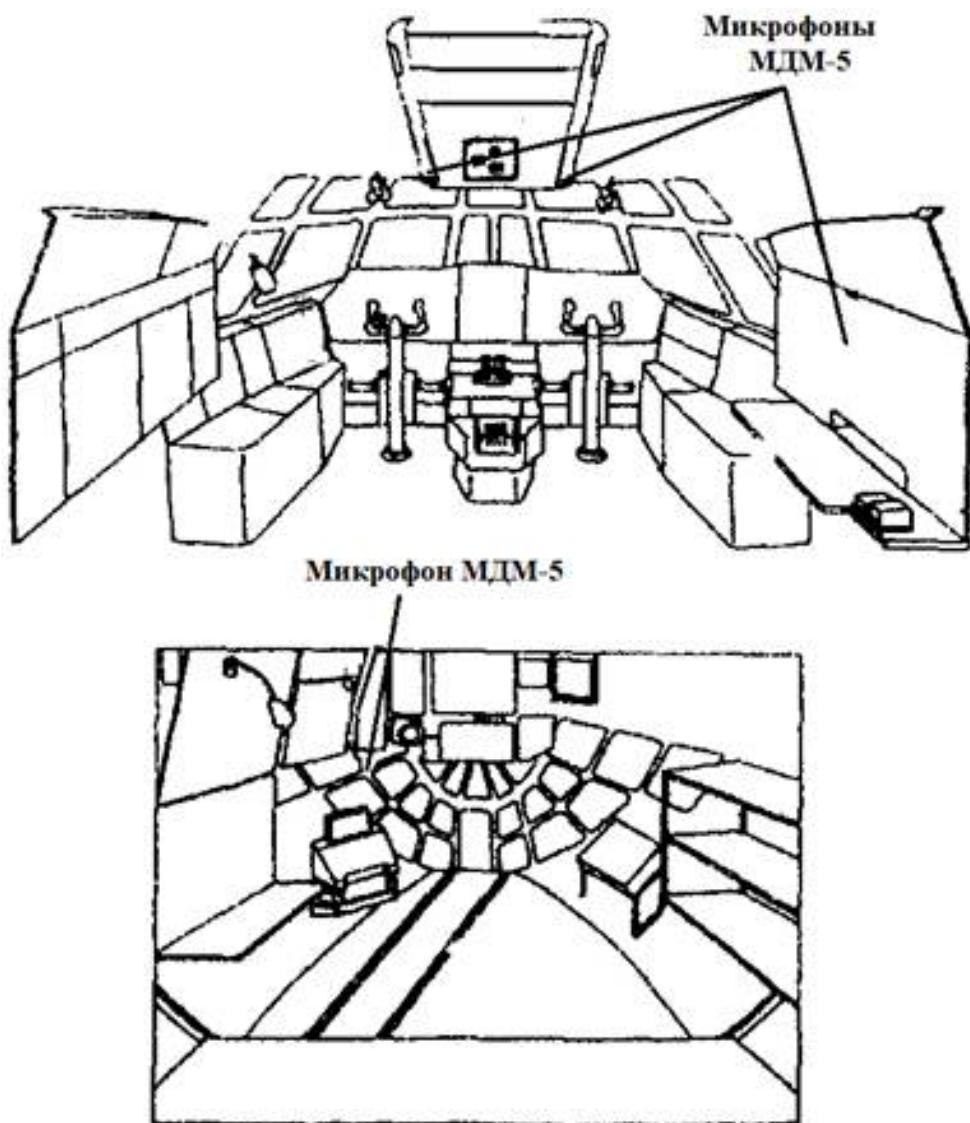


Рисунок 7. Размещение микрофонов в кабине экипажа Ил-76

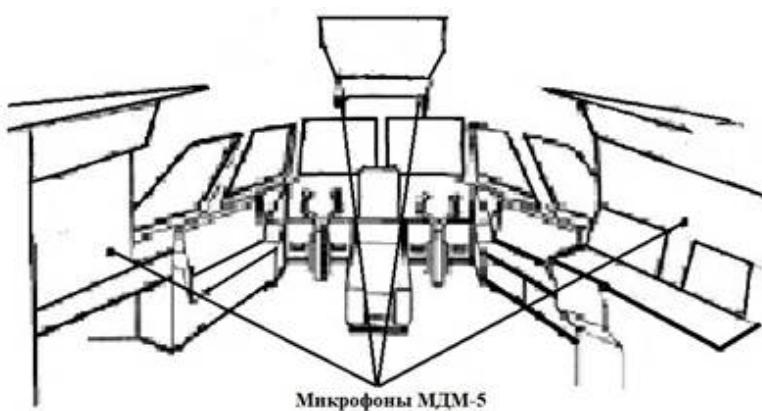


Рисунок 8. Размещение микрофонов в кабине экипажа Ил-86

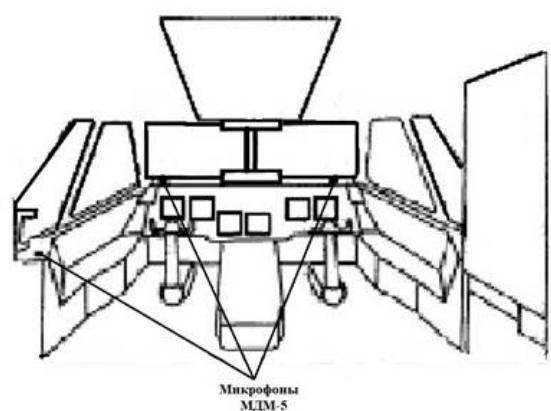


Рисунок 9. Размещение микрофонов в кабине экипажа Ил-96

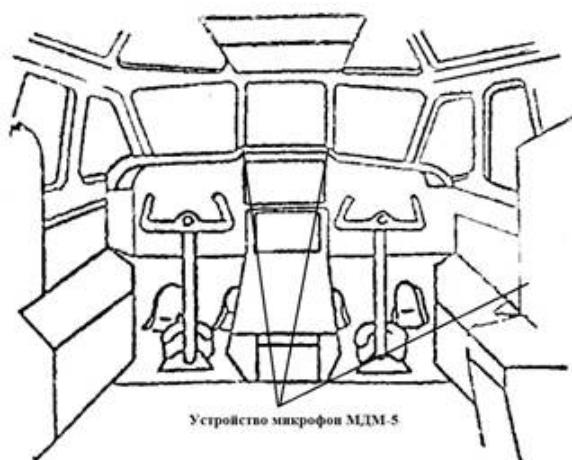


Рисунок 10. Размещение микрофонов в кабине экипажа Ту-154М

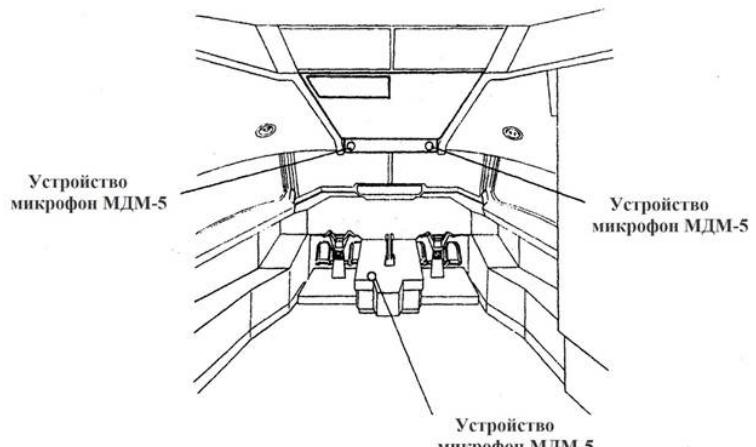


Рисунок 11. Размещение микрофонов в кабине экипажа Ту-204

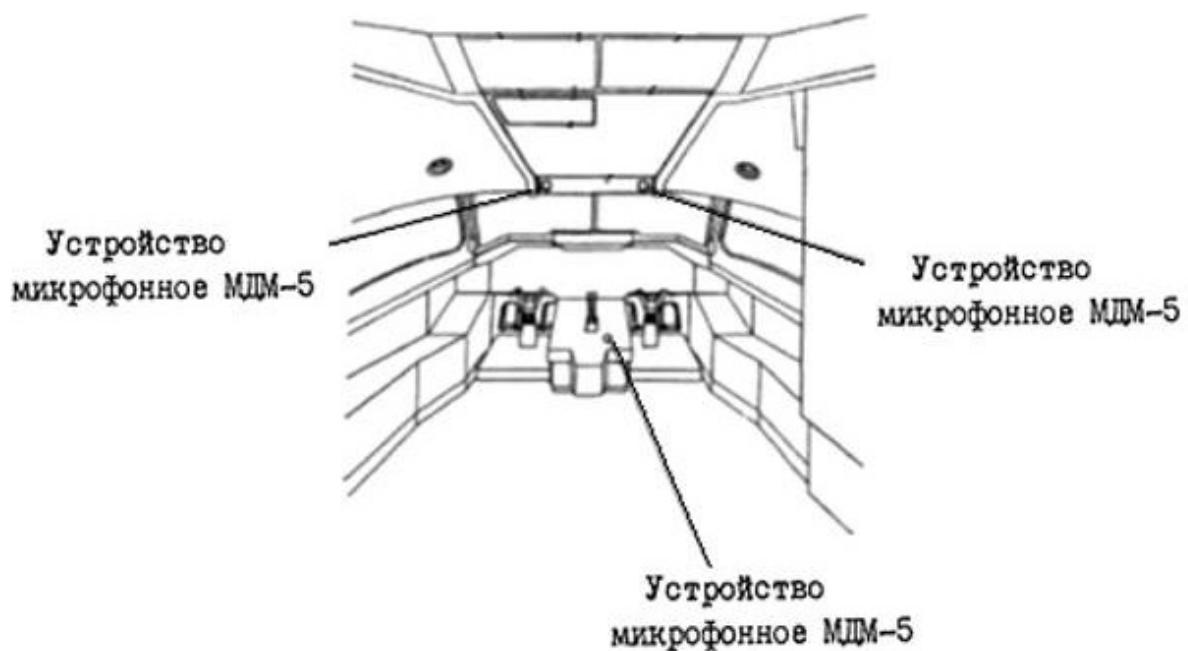


Рисунок 12. Размещение микрофонов в кабине экипажа Ту-214

- БУЗ предназначена для записи речевых сообщений с выходов бортовых радиоприемников, СПУ, гарнитуры (ларингофонов и микрофонов) и открытого микрофона на носитель информации.

Основным источником акустической обстановки в кабине экипажа ВС является открытый микрофон. Открытый микрофон постоянно включен, поэтому он дает информацию обо всех звуковых событиях, которые происходят в кабине экипажа. В таблице 2 приведены типы открытых микрофонов, используемых на современных ВС.

В современных БУЗ используются цифровые тракты с аналого-цифровым преобразованием (АЦП) на

основе импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). При ИКМ модуляции осуществляется аналого-цифровое преобразование путем дискретизации и квантования аналогового звукового сигнала (ЗС) на относительно низкой частоте дискретизации. С этой частотой цифровые звуковые данные передаются по тракту в виде непрерывной последовательности кодовых слов с достаточно большим числом разрядов от 16 до 24. При этом каналы звука записи должны обладать характеристиками приведенными в таблице 3.

В результате регистрации на носителе информации БУЗ формируется фонограмма. По сравнению с параметрической информацией

фонограмма имеет преимущества, которое заключается в том, что она обеспечивает полноту фиксации акустической обстановки в кабине экипажа. Звучащую речь членов экипажа, как и всю акустическую обстановку в кабине экипажа, отобразившуюся фонограммой, необходимо рассматривать как систему, состоящую из совокупности элементов и связывающих их отношений. Структурно-системный анализ показывает, что фонограмма акустической обстановке состоит из элементов, которые приведены на рисунке 13. При прослушивании фонограммы записанная акустическая обстановка расшифровывается на данные элементы.

Таблица 3. Основные характеристики БУЗ

Наименование параметра	Норма	
Рабочий диапазон частот каналов, работающих с использованием оборудования радиосвязи, Гц	150...3500	
Рабочий диапазон частот канала записи с открытого микрофона по уровню 3 дБ, Гц	150...5000	
Относительный уровень шумов канала запись-воспроизведение, определяемый при воспроизведении на наземном устройстве воспроизведения, дБ, не менее	40	
Слоговая разборчивость речи по каналам, работающим с использованием оборудования радиосвязи, при воспроизведении на наземном устройстве, % не менее	95 (1-й класс качества) при уровне шума в кабине самолета(вертолета) не более 80 дБ в условиях акустических шумов с общим уровнем: для самолетов истребительно-бомбардировочной авиации – 116 дБ; для самолетов дальней авиации – 98 дБ; для самолетов военно-транспортной авиации – 118 дБ; для вертолетов – 118 дБ	80
Слоговая разборчивость речи, записанной по 3-му каналу, при воспроизведении на наземном устройстве, %, не менее	90 (3-й класс качества) при уровне шума в кабине самолета(вертолета) не более 80 дБ в условиях акустических шумов с общим уровнем: для самолетов истребительно-бомбардировочной авиации – 116 дБ; для самолетов дальней авиации – 98 дБ; для самолетов военно-транспортной авиации – 118 дБ; для вертолетов – 118 дБ	60
Потребляемая мощность, Вт, не более	45	



Рисунок 13. Структура акустической обстановки в кабине экипажа

При разработке и эксплуатации БУЗ в кабине экипажа необходимо учитывать определенные требования, вытекающие из акустических особенностей кабины экипажа. Согласно требование Международной организации гражданской авиации (ИКАО от англ. ICAO – International Civil Aviation Organization) [5] БУЗ в кабине экипажа должна обеспечиваться запись на двух или более отдельных каналах, по крайней мере, следующую информацию:

а) внешнюю двустороннюю речевую связь, осуществляемую по радио на борту воздушного судна (ВС);

б) звуковую обстановку в кабине экипажа (открытый микрофон);

в) речевые переговоры в кабине экипажа между членами летного экипажа, использующими систему внутренней связи, если таковая установлена.

Чтобы получить звуковую картину акустической обстановки в кабине экипажа функционально адекватную необходимо учитывать разработки в области акустики. На рисунке 14 приведена схема формирования звуковой картины. Звуковая картина в кабине экипажа полностью формируется на земле при прослушивании зарегистрированной информации экспертом. Эксперты, проводящие прослушивание зарегистрированной информации, заявляют свое соображение о качестве акустического воспроизведения сигнала, излучаемого через электроакустиче-

ские устройства. Их соображения, как правило, очень неточны и выражаются словами "плохая разборчивость речи". Подобные оценки обусловлены объективными факторами и субъективным опытом, полученным при своих и чужих разговорах, прослушивании радио- и телевизионных передач, цифровых фонограмм на носителе информации.

В повседневной деятельности эксперта использует речь как средство общения, поэтому сам процесс речевой коммуникации ему представляется достаточно простым, но о сложности акустической обстановки он не подозревает. В связи с этим, важность исследования акустической обстановки кабины экипажа осознавалась экспертами с незапамятных времен. Возникает задача разработки методики по расшифровке фонограмм акустической обстановки в кабине экипажа.

Литература

1. Patent No. 2,170,383. August 15, 1939, USA, Aircraft recording means // Charles R. Kines., Baltimore, Md. Application. Filed March 23, 1937, Ser. No. 157,683 Claims. (C. 19-78.4). – 4 р.

2. Вальдман Э.Д. Занимательная телеграфия и телефония. – М.: Связь. – 1964. – 178 с.

3. Patent No. 3,327,067. June 20, 1967. USA, Cockpit Sound Recorder // Edmund A. Boniface, Enacio, Calif., assignor to Lockheed Aircraft Corporation, Burbank,

Calif. Filed Feb. 4, 1963, Ser. No. 256,592. Claims. (C. 79-100.2). – 3 р.

4. Попов Ю.В. Перспективы развития бортовых устройств регистрации // Проблемы безопасности полетов. – 1994 г. – № 3. – С. 14 -18.

5. Эксплуатация воздушных судов. Часть I. Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты. – Международная организация гражданской авиации, Издание двенадцатое, июль 2022 года – 254 с.

Попов Юрий Васильевич

1954 г.р., окончил КВАИУ (1977), МГУ им. М.В. Ломоносова (1987), доктор технических наук, начальник отдела МАК, ведущий научный сотрудник, автор более 250 научных работ, область научных интересов – сохранность и восстановление зарегистрированной информации бортовых устройств регистрации.

Андреев Евгений Вячеславович, научный сотрудник

Popov Yuriy V.

Born in 1954, graduated from the Kazan Higher Aviation Institute (1977), and Moscow State University named after M.V. Lomonosov (1987), Doctor of Technical Sciences, Head of Department of the Interstate Aviation Committee, author of more than 250 scientific papers, area of – scientific interests: preservation and restoration of registered information from onboard recording devices.

Andreev Evgeniy V., Research Fellow

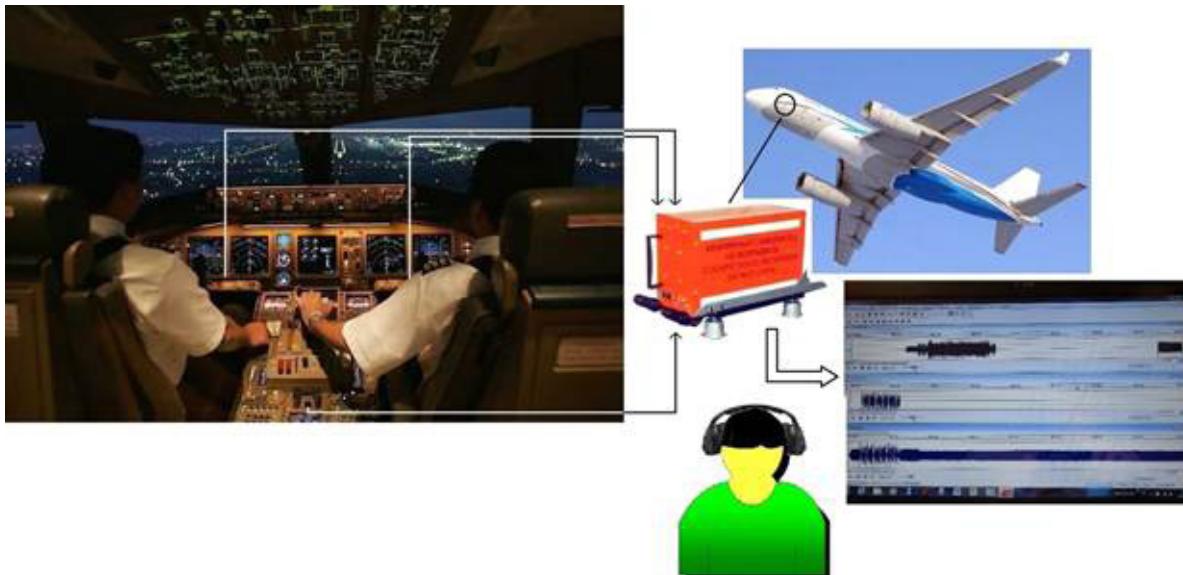


Рисунок 14. Схема формирования звуковой картины кабины экипажа на земле при прослушивании зарегистрированной информации

Интенсификация теплоотдачи с помощью использования наночастиц в теплоносителях для повышения их теплофизических свойств

// INTENSIFICATION OF HEAT TRANSFER USING NANOPARTICLES IN COOLANTS TO IMPROVE THEIR THERMOPHYSICAL PROPERTIES //

Рыжова Е.Л., доцент, к.т.н.,
Петербургский
государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург

В статье исследован вопрос использования наночастиц (наноматериалов и наножидкостей) в качестве теплоносителей для повышения эффективности отвода тепла в энергетических установках. Предложено решение проблем, связанных с интенсификацией теплопереноса со стороны теплоносителя за счет использования наночастиц. Рассмотрена возможность выбора наиболее эффективных наножидкостей путем анализа теплопроводности в зависимости от концентрации, размера, массы и материала наночастиц, что является важными условиями для снижения затрат и уменьшения теплопотерь при решении вопросов регулирования

ния в системах теплоснабжения. Наиболее эффективным является использование наножидкости с углеродными нанотрубками. Полученные результаты могут быть использованы для интенсификации теплоотдачи в теплообменных аппаратах с жидким теплоносителем систем на их основе, а также для повышения качества теплоснабжения и снижения массогабаритных параметров оборудования.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, наночастицы, наножидкость, теплоноситель, теплопроводность, коэффициент теплоотдачи, базовая жидкость.

The article examines the issue of using nanoparticles (nanomaterials and nanofluids) as heat transfer media to increase the efficiency of heat removal in power plants. A solution to the problems

associated with the intensification of heat transfer from the coolant through the use of nanoparticles is proposed. The possibility of selecting the most effective nanofluids by analyzing thermal conductivity depending on the concentration, size, mass and material of nanoparticles is considered, which are important conditions for reducing costs and reducing heat loss when solving regulatory issues in heat supply systems. The most effective is the use of a nanofluid with carbon nanotubes. The results obtained can be used to intensify heat transfer in heat exchangers with liquid coolant and systems based on them, as well as to improve the quality of heat supply and reduce the weight and size parameters of the equipment.

Keywords: heat transfer intensification, nanoparticles, nanofluid, heat carrier, heat capacity, thermal conductivity, heat transfer coefficient, base liquid.

Современные проблемы энергетики показывают необходимость миниатюризации систем охлаждения и повышения эффективности теплообмена. Добавление наночастиц в теплоносители для повышения их теплопроводности является одним из перспективных способов интенсификации теплообменных процессов, при этом степень повышения зависит от материала наночастиц, их объемной доли, а также многих других факторов. Потенциальное повышение эффективности работы теплотехнического оборудования без значительных затрат на модернизацию позволяет использование

наножидкостей. Поэтому использование наноматериалов и нанотехнологий для интенсификации теплообмена является актуальным и перспективным направлением, особенно в контексте систем отопления и теплоснабжения, где необходимо повысить эффективность и уменьшить габариты оборудования. Тема использования наночастиц в теплоносителях находится в центре внимания как отечественной, так и зарубежной современной науки, но требует дальнейших исследований и систематизации [1, 2].

Для дальнейших исследований и внедрения наноматериалов и на-

нотехнологий для интенсификации теплообмена необходимо:

- провести более глубокий анализ и систематизацию существующих данных по влиянию различных факторов (материал, концентрация, размер наночастиц и т.д.) на теплопроводность и теплообмен наножидкостей.
- изучить, как долго сохраняются повышенные теплопроводные свойства наножидкостей в реальных условиях эксплуатации, и разработать методы повышения их стабильности.
- определить, как добавление наночастиц влияет на гидравличес-

ское сопротивление в системах теплоснабжения и отопления, и разработать методы минимизации негативных эффектов.

- оценить потенциальное воздействие наночастиц на здоровье человека и окружающую среду, и разработать безопасные и экологически чистые наножидкости.
- разработать оптимальные составы наножидкостей для различных применений, а также эффективные и экономичные технологии их производства.
- провести практические испытания наножидкостей в реальных системах отопления и теплоснабжения для оценки их эффективности и надежности, а также разработать рекомендации по их внедрению в промышленность.

Влияние наночастиц на интенсификацию теплообмена

Проблема высокотемпературных теплоносителей состоит в ухудшении процесса теплообмена по сравнению с водой из-за более низкого коэффициента теплопроводности. Решением этой проблемы является интенсификация теплообмена путем добавления в жидкость твердых частиц с высокой теплопроводностью (пассивный метод). Образование отложений, увеличение гидравлических сопротивлений, абразивный износ ограничивает использования обычных твердых частиц в теплоносителе. Использование наножидкостей с мелкими твердыми частицами (<10 нм) для повышения теплопроводности позволяет применить данный метод интенсификации теплообмена. Развитие нанотехнологий позволяет преодолеть проблемы, связанные с использованием обычных твердых частиц, и открывает новые возможности для создания эффективных и компактных теплообменных систем [3, 4].

Наножидкости состоят из базовой жидкости и наночастиц высокотеплопроводного материала. Чаще всего используются вода, этиленгликоль, а также минеральные и синтетические масла (особенно для высокотемпературных применений). Масла позволяют нагревать жидкость до высоких температур при ат-

мосферном давлении, менее коррозионно активны и предотвращают локальное вскипание. Добавление наночастиц изменяет теплофизические характеристики жидкости, увеличивает ее коэффициент теплоотдачи [5-9].

Использования наножидкостей в системах отопления как суспензии наночастиц, обладающих улучшенными теплофизическими свойствами, такими как теплопроводность и теплоёмкость, позволяет интенсифицировать процессы тепломассообмена, что повышает эффективность работы теплотехнического оборудования в зависимости от температуры наружного воздуха. При увеличении числа Рейнольдса наблюдается значительное увеличение коэффициента теплоотдачи, при этом степень увеличения зависит от концентрации и скорости наночастиц. Добавление наночастиц оксидов металлов приводит к повышению коэффициента теплопередачи до 50%, а наличие суспензии углеродных нанотрубок в воде улучшает коэффициент конвективного теплообмена до 150%. Все эти факторы подчеркивают потенциал использования наножидкостей в системах отопления для повышения эффективности, снижения затрат и улучшения качества теплоснабжения. Наножидкости увеличивают теплопроводность и коэффициент теплоотдачи при конвективном теплопереносе по сравнению с базовой жидкостью, что подчеркивает перспективность использования наножидкостей для улучшения теплопередачи, но отсутствие на данный момент однозначного оптимального количества наночастиц для максимального увеличения теплопроводности и теплоотдачи указывает на необходимость дальнейших исследований их состава и применения [10, 11]. Важно проводить дальнейшие исследования для оптимизации концентрации, типа наночастиц и других параметров, чтобы достичь максимальной эффективности. Необходимо учитывать долгосрочную стабильность наножидкостей и их влияние на долговечность оборудования.

Наножидкости благодаря своим свойствам (теплопроводности или

соотношению вязкости и теплопроводности) имеют большее влияние на теплоотдачу. Увеличение теплоотдачи при ламинарном режиме течения обусловлено преимущественно повышением теплопроводности самой наножидкости. В рекуперативных теплообменниках (пластинчатых и кожухотрубных) увеличение концентрации частиц в наножидкости приводит к росту коэффициента теплоотдачи в ламинарном режиме. Чем больше размер частиц, тем выше коэффициент теплоотдачи. Зависимость коэффициента теплоотдачи от размера частиц может иметь максимум, что говорит о наличии оптимального размера для достижения наилучшей теплопередачи. При турбулентном режиме важную роль играет соотношение вязкости и теплопроводности наножидкости. Размер наночастиц является важным параметром, который необходимо оптимизировать для достижения максимальной эффективности теплопередачи в зависимости от условий течения. Таким образом, наножидкости обладают значительным потенциалом для улучшения теплопередачи, но для эффективного их использования необходимо учитывать и оптимизировать ряд факторов, таких как режим течения, концентрация и размер наночастиц. Оптимальный размер может зависеть от конкретных условий, что подчеркивает необходимость дальнейших исследований [5].

Применение наночастиц в системах отопления и теплоснабжения является перспективным, но сложность и многогранность вопросов, связанных с использованием наночастиц, требует тщательного изучения и учета множества факторов, включая выбор наночастиц, их концентрацию, стабильность и потенциальное влияние на образование отложений и коррозию. Взаимосвязь гидравлического режима и тепловой нагрузки подчеркивает важность этих параметров для эффективной работы системы. Необходимо комплексное изучение не только теплоотдачи и гидравлического режима, но и прочности покрытия из наночастиц. Возможность образования кристаллов из-за высокой концентрации наночастиц в природной

воде может негативно повлиять на эффективность системы. Потенциальные преимущества применения наноструктур для повышения рабочих параметров и интенсификации теплообмена достигается только при невысоком содержании наночастиц. Поэтому важно учитывать не только техническую эффективность, но и экономическую целесообразность применения наночастиц, учитывая стоимость производства, внедрения и обслуживания, а также потенциальное воздействие наночастиц на окружающую среду и здоровье человека. Необходимо исследовать долгосрочную стабильность наночастиц в теплоносителе и их влияние на срок службы оборудования. Разработка эффективных методов диспергирования и стабилизации наночастиц в теплоносителе является критически важной для обеспечения стабильной и эффективной работы системы [2].

Анализ факторов, влияющих на теплопроводность наножидкостей

Таким образом, использование наножидкостей в качестве теплоносителя может приводить как к интенсификации теплообмена, так и к его ухудшению. При этом результаты о влиянии размера частиц на теплопроводность противоречивы.

Концентрация частиц – определяющий фактор для коэффициента теплоотдачи. Оптимальная концентрация необходима для баланса между теплопроводностью и вязкостью наножидкости. Теплопроводность наножидкости обычно линейно увеличивается с ростом концентрации наночастиц. Значительное повышение коэффициента теплоотдачи наблюдается при увеличении концентрации наночастиц по сравнению с чистой водой. С увеличением объемной доли наночастиц происходит интенсификация теплообмена, снижается температура стенок, что позволяет уменьшить габаритные характеристики котла. За счет уменьшения площади поверхности нагрева снижается материаломкость и повышается эффективность теплообменного оборудования [2, 3].

Предполагается, что наночастицы улучшают смачиваемость базовой жидкости и существенно повышают критический тепловой поток. Небольшое количество наночастиц может значительно изменить теплоту испарения базовой жидкости. Например, добавка 3% наночастиц Ag приводит к уменьшению теплоты испарения на 25%, а добавка такого же количества наночастиц Al увеличивает теплоту испарения на 3%. Применение наночастиц GO в концентрации 0–0,15% по объему позволило достичь увеличение коэффициента конвективной теплопередачи на 34,7% и коэффициента трения по базовой жидкости на 9,64%. Однако, при высокой концентрации наночастиц может произойти агломерация частиц, что ухудшает теплопередачу. Поэтому важно найти оптимальное соотношение концентраций. Увеличение концентрации наночастиц в теплоносителе позволяет уменьшить площадь поверхности нагрева, тем самым уменьшить размеры и массу теплообменных аппаратов.

Размер частиц влияет на теплоотдачу – чем меньше размер частиц, тем выше интенсивность теплообмена. Например, в одном из исследований было показано, что при уменьшении размера частиц корунда с 1,0 мм до 0,5 мм локальный коэффициент теплоотдачи увеличивается. Также улучшается равномерность распределения коэффициента теплоотдачи по периметру. При исследовании теплообмена при кипении наножидкости на основе Al₂O₃ частиц с характерными размерами 10–50 нм было отмечено повышение теплоотдачи на 20–40% по сравнению с кипением чистой жидкости.

Зависимость коэффициента теплоотдачи от материала наночастиц полностью обусловлена вязкостью и теплопроводностью наножидкости. По мере уменьшения размера частиц общая площадь поверхности раздела твердое тело – жидкость и количество частиц при той же объемной концентрации увеличиваются, что приводит к более значительному увеличению вязкости. Однако у использования наночастиц есть и недостатки: на теплоотдачу тонкоизмельчённой пыли (до нескольких

микронов) уменьшение размера частиц может оказывать отрицательное влияние. Уменьшение размера наночастиц в наножидкости ведет к изменению состава в сторону особой жидкости – неньютоновской. Это связано со спецификой движения мелкодисперсного потока и вероятностью слипания и конгломерации частиц. Вязкость наножидкостей значительно превышает вязкость базовой жидкости, что приводит к высокому гидравлическому сопротивлению. Уменьшение диаметра частиц повышает эффективность охлаждения. Это связано с тем, что уменьшение диаметра частиц сводит к минимуму поровые каналы, увеличивает удельную площадь пористой поверхности, улучшает конвективную теплопередачу жидкости. В то же время, уменьшение диаметра частиц может значительно увеличить давление впрыска охлаждающей жидкости.

Наночастицы обеспечивают рост теплоотдачи, сокращают расход тепловой энергии и топлива. В наножидкостях, содержащих нанометровые частицы, в качестве твердых включений используют следующие материалы: металлы (медь, железо, серебро, золото), оксиды металлов (CuO, Al₂O₃, TiO₂, SiO₂, Fe₃O₄), сплавы (Ag-Cu, Cu-Zn), карбиды и нитриды металлов: (SiC, TiN), углеродные нанотрубки (графен), алмаз. Также активно развиваются технологии на основе наночастиц из phase-change материалов – веществ с высокой тепловой плавления, которые, плавясь и затвердевая при определенной температуре, способны хранить и высвобождать теплоту фазового перехода. Наибольшие улучшения коэффициентов конвективного теплообмена (до 150%) наблюдались в суспензиях углеродных нанотрубок в воде. Графеновые наноматериалы могут использоваться в качестве теплоносителя, в виде пленок, мембранны или объемных материалов в теплопередающих устройствах. Высокая теплопроводность графена и формирование на поверхности или вблизи нее нанопористого слоя способствуют генерации пара внутри нанопор, что усиливает генерацию пузырей при кипении и эффективное испарение. Графен, обладая вы-

сокой теплоемкостью превосходит вольфрам по температуре кипения (3700 °C). Графен может передавать тепло очень быстро и эффективно, что оказывает положительное влияние на свойства наножидкостей [1].

Проблемы использования наножидкостей

Несмотря на свои улучшенные теплофизические свойства, наножидкости имеют и ряд недостатков, которые следуют из особенностей их получения и эксплуатации. Неоднородность размеров частиц влияет на теплофизические свойства наножидкости. Более крупные частицы могут оседать быстрее, а мелкие – труднее стабилизировать. Необходим строгий контроль качества производства, внедрение жестких стандартов на размер и форму наночастиц. Разделение наночастиц по размерам после синтеза для получения более однородной суспензии, а также тщательная характеристизация каждой партии наножидкости перед использованием, например, с помощью динамического рассеяния света, позволяют стабилизировать наножидкости и предотвращения осаждения наночастиц.

Кроме того, свойства наножидкостей легко меняются и сильно зависят от внешних факторов. Температура, pH, ионная сила и другие факторы могут влиять на стабильность наножидкости, вызывая агрегацию и осаждение. Подбор стабильных наночастиц, устойчивых к коррозии и изменению pH, минимизация контакта наножидкости с воздухом и другими загрязнителями дают возможность минимизировать изменение свойств наножидкостей при воздействии внешних факторов. Осаждение наночастиц приводит к снижению теплопередачи, засорению каналов и повреждению оборудования. Использование поверхностно-активных веществ (ПАВ), электростатической стабилизации или стерической стабилизации наножидкости, установка фильтров для удаления крупных агрегатов и осадка, учет возможности осаждения при проектировании системы, например, использование вертикальных каналов, предотвращает осаждения ча-

стиц за счет достаточной скорости потока. Недостаточно исследований по коррозионному поведению ПАВ и наночастиц при различных значениях pH в различных условиях эксплуатации. Неправильный выбор ПАВ или его концентрации может привести к образованию пены, коррозии, ухудшению теплофизических свойств и нестабильности наножидкости. Тщательное тестирование различных ПАВ для конкретного типа наночастиц и базовой жидкости, определение оптимальной концентрации ПАВ для обеспечения стабильности и минимизации негативных эффектов, а также применение нескольких ПАВ с разными свойствами для достижения синергетического эффекта позволит стабилизировать поверхности наночастиц улучшить их функционализацию [12]. Ограничено количество экспериментальных данных о поведении наножидкостей при температурах выше 100 °C также является проблемой использования наножидкостей [4].

Использование наножидкостей увеличивает перепад давления в теплообменниках из-за их более высокой вязкости. Повышенная вязкость наножидкостей по сравнению с базовыми жидкостями может привести к увеличению энергозатрат на перекачку и снижению эффективности теплопередачи в некоторых системах. Необходим компромисс между повышенной теплопроводностью и вязкостью. Выбор оптимальной концентрации наночастиц обеспечивает достаточный прирост теплопроводности при минимальном увеличении вязкости. Существуют исследования, показывающие, что существует оптимальная концентрация, после которой дальнейшее увеличение не приводит к пропорциональному росту теплопроводности, а только увеличивает вязкость [12]. Использование наночастиц с формой, минимизирующей увеличение вязкости, например, сферические частицы, частицы в форме волокон или пластин могут значительно увеличивать вязкость даже при низкой концентрации. Поэтому применение специальных добавок для снижения вязкости наножидкости не влияют на ее теплофизические свойства, а лишь улучшают их. Кроме того, не-

обходима оптимизация температурного режима работы системы, так как вязкость жидкостей значительно зависит от температуры.

Высокая стоимость наночастиц, ПАВ и оборудования для производства наножидкостей может нивелировать преимущества их использования. Необходимо учитывать все затраты жизненного цикла наножидкостей. Исследование более дешевых и масштабируемых методов производства наночастиц может включать использование более доступного сырья, упрощение технологического процесса и снижение энергозатрат. Разработка технологий для регенерации и повторного использования наножидкостей после их применения может включать фильтрацию, удаление загрязнений и восстановление стабильности. Разработка более эффективных теплообменников и других устройств, использующих наножидкости снижает необходимый объем наножидкости и, следовательно, затраты. Поиск альтернативных, более дешевых наноматериалов с сопоставимыми теплофизическими свойствами, проведение полного анализа затрат жизненного цикла, включая стоимость производства, эксплуатации, утилизации и потенциального воздействия на окружающую среду даст возможность определить реальную экономическую выгоду от использования наножидкостей.

Ключевым вопросом экономической эффективности использования наножидкостей является оценка всех затрат, вляющих на стоимость наножидкостей. К ним относятся: стоимость исходных материалов для синтеза наночастиц и ПАВ, оборудования для синтеза наночастиц, подготовки наножидкости (например, ультразвуковые диспергаторы, гомогенизаторы) и контроля качества, энергозатраты на производство наночастиц, поддержание стабильности наножидкости (например, перемешивание, ультразвуковая обработка) и перекачку наножидкости в системе, затраты на утилизацию отработанных наножидкостей и наночастиц, затраты на оплату труда персонала, занимающегося производством, обслуживанием и контролем качества наножидкостей [4].

Несмотря на недостатки, использование наножидкостей остается перспективным направлением исследований, которое находится в центре внимания современной науки. Дальнейшие исследования и разработки необходимы для решения существующих проблем и реализации потенциала наножидкостей в теплоэнергетике. Разработка и применение наножидкостей – сложная задача, требующая учета множества факторов. Решение перечисленных проблем позволит в полной мере реализовать потенциал наножидкостей в теплоэнергетике и других областях. Важно проводить фундаментальные исследования по механизмам стабилизации, взаимодействию наночастиц с жидкостью и поверхностью, а также разрабатывать надежные методы характеризации и контроля качества наножидкостей.

Заключение

Использование наночастиц в системах отопления и теплоснабжения – это сложная, но потенциально перспективная область, требующая дальнейших исследований и разработок для решения существующих проблем, и реализации всех потенциальных преимуществ. Модификация теплоносителей наночастицами, даже в небольших концентрациях, может существенно увеличить теплоотдачу. Это приводит к сокращению расхода топлива и тепловой энергии, необходимой для поддержания заданной температуры. Улучшенная теплоотдача обеспечивает более эффективную передачу тепла от источника к потребителю, что приводит к стабильному и комфорtnому теплоснабжению. Нанотехнологии позволяют оптимизировать гидравлические режимы в тепловых сетях, уменьшить размеры теплообменных аппаратов и снизить затраты на их изготовление и эксплуатацию. Важно отметить, что, как в любой новой технологии, необходимо учитывать потенциальные недостатки и проводить дальнейшие исследования для оптимизации применения наножидкостей, такие как обеспечение стабильности наночастиц в теплоносителе в течение длительного времени, снижение стоимости производства

наножидкостей, чтобы сделать их более доступными, минимизация потенциального воздействия наночастиц на окружающую среду. В целом, использование нанотехнологий в теплоносителях представляет собой перспективное направление для повышения энергоэффективности систем теплоснабжения и совершенствования теплообменного оборудования. Таким образом, успешное применение наножидкостей требует комплексного подхода, включающего оптимизацию теплофизических свойств, гидродинамики и экономической целесообразности. Необходимы дальнейшие исследования и разработки в области материалов, технологий производства и системного проектирования, чтобы сделать наножидкости конкурентоспособными и широко востребованными в различных энергетических технологиях.

Библиографический список

1. Терехов В.И., Калинина С.В., Леманов В.В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Часть 1. Синтез и свойства наножидкостей // Теплофизика и аэромеханика, 2010, том 17, № 1, С.1-15.
2. Левин Ю.А., Асаул М.А., Ступакова О.Г. К вопросу оптимизации работы систем теплоснабжения за счет использования теплоносителя, модифицированного наноразмерными первичными материалами // Вестник алтайской академии экономики и права № 11, 2022. С.17-22
3. Михайлов А. Г., Вдовин О. В., Слободина Е. Н. Интенсификация теплообмена в жаротрубном котле при использовании наножидкости в качестве теплоносителя // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 67–70. DOI: 10.25206/1813-8225 2018-162-67-70.
4. Чечеткин А. В. Высокотемпературные теплоносители. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 2001, 496 с.
5. Терехов В.И., Калинина С.В., Леманов В.В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы. Часть 2. Конвективный теплообмен // Теплофизика и аэромеханика. 2010. № 2. с. 173–188.
6. Асаул А.Н., Звягина А.В., Литвинцев А.А. и др. 100 открытий и изобретений новой России // Отечественной экономике – инновационный характер: материалы XIX научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 30–31 октября 2017 г. СПб.: АНО «ИПЭВ», 2017. С. 11-194.
7. Трубицына Г.Н., Барзенкова В.В., Фроликова В.С. Оценка возможности использования нано жидкостей в системах теплоснабжения и вентиляции // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сборник статей по материалам X Международной научно-практической конференции. М.: Интернаука, 2016. № 8 (10).
8. Суртаев А.С., Сердюков В.С., Павленко А.Н. Нанотехнологии в теплофизике: теплообмен // Российские нанотехнологии. 2017. Т. 11. № 11-12. С. 18.
9. Дмитриев А.С., Клименко А.В. Преобразование солнечного излучения в пар – новые возможности на основе наноматериалов (обзор) // Теплоэнергетика. 2020. № 2. С. 3-19. DOI: 10.1134/S0040363620020010.
10. Зобов К.В., Труфанов Д.Ю., Бардаханов С.П., Про кудин В.А., Гапоненко В.Р. Исследование пре делного уровня осаждения нанопорошков в жидкости и газе. В книге: Динамика многофазных сред (ДМС-2021). Тезисы докладов XVII Всероссийского семинара с международным участием. Новосибирск, 2021. С. 26.
11. Морозова М.А. Теплопроводность и вязкость наножидкостей: дис. канд. ф-м. наук: (01.04.14) / Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе сибирского отд. РАН. Новосибирск, 2019.
12. Макеев А.Н., Кирюхин Я.А. Проблемы и перспективы использования наножидкостей в теплоэнергетике. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Том 49, №3, 2022, С.24-31.

Рыжкова Елена Львовна

Родилась в 1967 году. В 2000 году окончила Петербургский государственный университет путей сообщения по специальности автомата, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте. В 2006 году защитила диссертацию по теме «Создание компьютерного тренажера

жера-имитатора для обучения безопасным приемам труда». Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и теплоэнергетика» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, доцент, к.т.н. Имеет 88 публикаций, из них 19 учебно-методических и 69 научных работ; патент – свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Имеет благодарность Министра транспорта РФ

Ryzhova Elena Lvovna

Born in 1967. In 2000, she graduated from St. Petersburg State University of Transport with a degree in automation, remote control and communications in railway transport. In 2006, she defended her dissertation on the topic "Creation of a computer simulator for teaching safe work practices." Candidate of Technical Sciences. Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Thermal Power Engineering, St. Petersburg State

University of Transport of Emperor Alexander I, Associate Professor, Ph.D. Has 88 publications, of which 19 are educational and methodological and 69 scientific works; patent – certificate of state registration of a computer program. Has the gratitude of the Minister of Transport of the Russian Federation.

Поиск неисправностей систем ПСГО железнодорожных станций

// SEARCH MALFUNCTIONS OF PARK COMMUNICATION SYSTEMS
OF LOUD-SPEAKER NOTIFICATION OF RAILWAY STATIONS //

М. С. Антонов,
Иркутский государственный
университет путей сообщения,
г. Иркутск

И. А. Худоногов,
Иркутский государственный
университет путей сообщения,
г. Иркутск

В статье исследуются существующие подходы к диагностике и поиску неисправностей систем ПСГО. Внимание акцентируется на

усилительном оборудовании и на медножильных кабелях. Рассматривается проблематика возникновения повреждений фидерных линий, как от промышленных факторов, так и от природных. Приведён принцип построения сетей громкого оповещения.

Ключевые слова: громкоговорящая связь, двухсторонняя парковая связь, кабельные линии, фидер, повреждения кабелей, усилитель.

The article examines the existing approaches to the diagnosis and searching of park loud-speaker systems. Attention is focused on amplification equipment and copper-core cables. The problem of damage to feeder lines from both industrial and natural factors is considered. The principle of building loud notification networks is given.

Keywords: *loudspeaker communication, two-way park communication, cable lines, feeder, cable damage, amplifier.*

Введение

Согласно концепции «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года», утверждённой Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 года № 877-р, совершенствование и модернизация транспортной системы является приоритетной целью в развитии отрасли как инфраструктурного базиса для обеспечения транспортной целостности, независимости и безопасности [1].

Надёжность и качество железнодорожной транспортной системы (ЖДТС) напрямую зависят от стабильного функционирования систем и сетей связи, где одним из важнейших элементов выступают кабельные линии связи (КЛС). Поэтому любые отказы кабельных линий связи приводят к негативным последствиям и сбоям в работе инфраструктуры и значительному понижению ежегодно устанавливаемого коэффициента готовности. Именно бесперебойная работа сетей связи поддерживает безотказную эксплуатацию транспорта.

Как известно, устройства парковой связи громкоговорящего оповещения (ПСГО), в том числе и

кабельные линии, в условиях работы железнодорожного транспорта находятся в неблагоприятной электромагнитной обстановке, а именно подвергаются воздействию многочисленных влияний и внешних импульсных помех от тяговой и контактной сетей, а также от грозовых разрядов, электромагнитных шумов промышленного происхождения и эксплуатации электроподвижного состава [2].

Организация станционной двухсторонней парковой связи (СДПС) решается отдельно для каждой железнодорожной станции в зависимости от технологических потребностей, необходимых для управления эксплуатационной работой и непрерывного обеспечения перевозочного процесса в рамках деятельности компании ОАО «РЖД». Актуальность темы обусловлена проблемами поиска путей и методов решения неисправностей систем парковой связи и фидерных линий, а также разработкой мер по их ремонту и устранению.

Принцип организации ДПС

Система громкоговорящего оповещения работников и информирования пассажиров, получившая

наиболее широкое распространение по сети электрифицированных железных дорог, базируется на применении цифрового модульного комбинированного усилителя четырёхканального УМК-4 от производителя ООО КБ «ПУЛЬСАР – ТЕЛЕКОМ». Раньше громкоговорящая связь на станциях подразумевала использование морально и физически устаревшей аппаратуры СДПС от компании «Стальэнерго», в составе которой имелся усилитель трансляционный УТ 200 [3].

На рисунке 1 приведена структурная схема современной организации ДПС. Усилитель мощности трансляционный цифровой (УТЦ) предназначен для усиления речевых сигналов до определённой электрической мощности и их передачи на фидерные линии громкого оповещения и линии парковых переговорных устройств (ППУ). В модуле УТЦ предусмотрены вводно-защитные устройства от выбросов постороннего напряжения по выходам на фидерные линии. Оборудование размещается на посту электрической централизации (ЭЦ), а проложенные с парка кабельные линии подключаются к защитным устройствам усилительного блока в вводном шкафу.

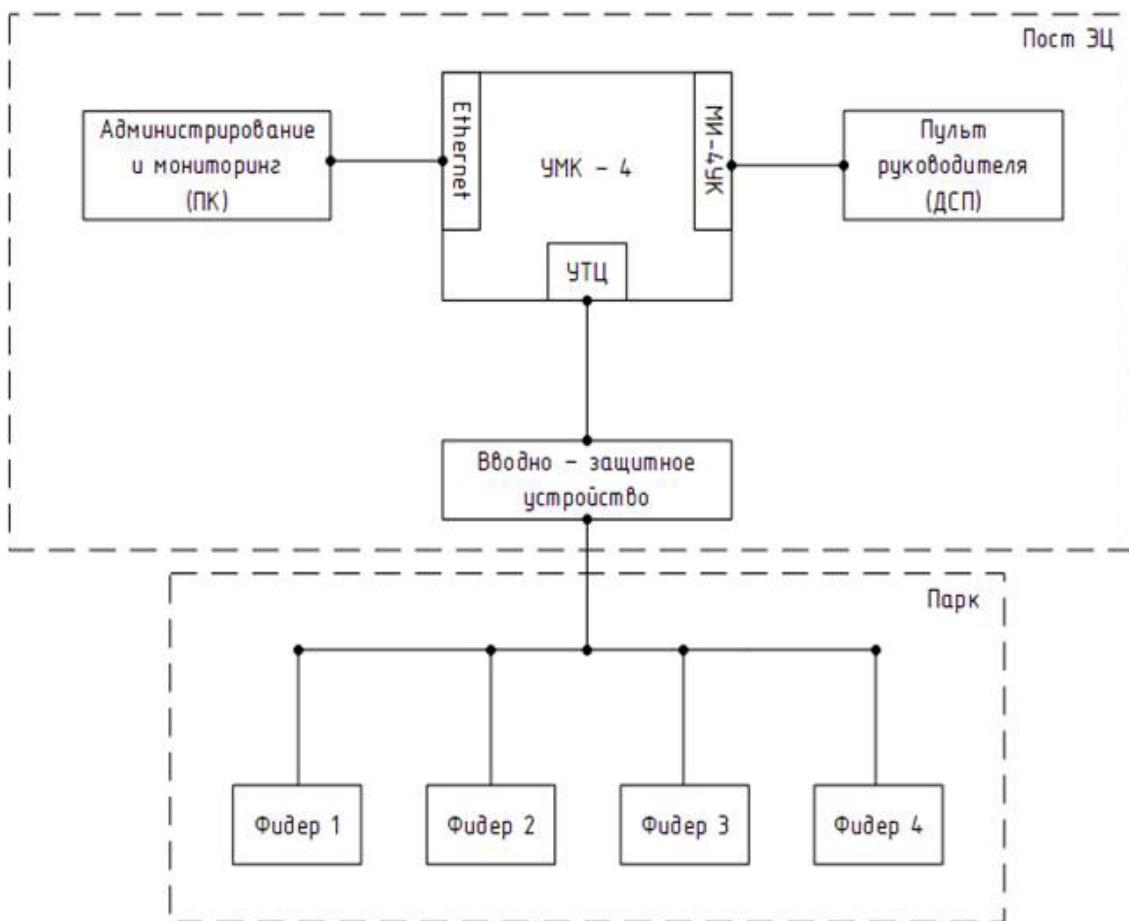


Рисунок 1 – Схема организации ДПС на базе УМК-4

Диагностика усилительного модуля

При возникновении сбоев первоначально проводится проверка внутренних компонентов оборудования встроенной многофункциональной системой мониторинга и администрирования. Осматриваются линии и цепи подведённого к устройству питания, а также осуществляется визуальный контроль аппаратуры,

блоков и уходящих фидерных линий с целью выявления очевидных неполадок. Для исключения неустойчивого (самоустраниющегося) сбоя электронных элементов производится оперативная перезагрузка усилителя по согласованию с отделом производственного участка мониторинга (ЦТО). В случае устойчивого повреждения с разрешения старшего смены ЦТО усилительный модуль подлежит демонтажу и заме-

не. Демонтированный неисправный блок отправляется в контрольный ремонтный пункт (КРП) или возвращается по действующей гарантии заводу – изготовителю. Если неисправность не связана с УМК-4, то проверяются уходящие в парк кабельные линии фидера и ППУ. На рисунке 2 показан реализованный монтаж аппаратуры в телекоммуникационных стоечных шкафах.

УМК - 4



Вводно - защитные устройства



Рисунок 2 – Размещение оборудования

Определение мест повреждений кабельных линий ДПС

Согласно корпоративной технологии [4] и государственным правилам [5] при нарушении целостности кабельных линий приходят к измерениям с помощью диагностических комплексов контроля кабелей (МДК). После измерения сопротивления изоляции фидера и линий ППУ устройствами МДК, прибегают к ручным измерениям, то есть, они проводятся электромеханиками посредством мегаомметра на посту ЭЦ или в ближайших местах ввода кабелей, предварительно отключив линии от трансляционных усилителей. Минимально допустимое значение сопротивления изоляции составляет порядка 250 КОм [6]. Если показания измерительного прибора меньше минимального значения, то в парке исследуют кабельную трассу на предмет явных повреждений. При отсутствии таковых, производится поиск наземной муфты или вскрытие грунта для доступа к подземной, ограничивающей предполагаемый проблемный участок кабельной линии. Процесс определения локализаций повреждений трудоёмок и может занимать продолжительное время у ремонтно – восстановительных бригад (РВБ) [7].

Иногда траектория пролегания кабелей в парках не известна по причинам сложного неоднородного ландшафта или рельефа, то в

таких случаях используют дистанционный метод определения повреждений (импульсный). Иными словами, производится зондирование кабельной трассы импульсными рефлектометрами (ИРК-ПРО АЛЬФА, РИ-10М1, ИРК-ПРО Гамма и др.). По полученным результатам рефлектометры анализируют найденные неоднородности в жилах. Ими могут быть: повышенное продольное сопротивление, понижение изоляции, разбитость пар или обрыв. Также кабельные приборы имеют функцию автоматического определения расстояния до места неисправности с определённой погрешностью. Поэтому для максимальной точности с помощью индукционного метода, представленного на рисунке 3, путём применения трассодефектоскопов (ПОИСК-310Д-2М и др.) идентифицируют (отбивают) искомую трассу. Сложность конфигурации разветвлённых сетей кабельных линий характеризуется многократными ремонтами и многочисленными выносами, создаваемых при восстановлении коммуникаций связи.

Частыми причинами [8] повреждений в кабельных линиях ДПС выступают:

- замыкания одной или нескольких фаз между собой или на землю;
- обрыв жил при механизированных работах или из-за перемещения слоёв почвы;
- дефекты монтажа муфт;

- возгорание кабельных коммуникаций вследствие пожаров или природных катаклизмов;
- заводской брак;
- деградация из – за влажности (замокание жил);
- естественное старение оболочек, изоляции и брони.

Постепенно при строительстве инженерных сетей внедряется новая технология идентификации кабельных трасс на основе электронных маркеров (колебательных контуров), функционирующих благодаря явлению резонанса. Преимущество этой технологии заключается в значительных снижениях эксплуатационных расходов и повышении безопасности за счёт минимизации раскопок или земляных работ [9]. В железнодорожной инфраструктуре маркировка почти не распространена, но при модернизации отрасли её введение сможет упростить ремонтно-восстановительные работы на объектах связи.

Заключение

В дополнение к вышерассмотренному можно сказать, что тяговая сеть оказывает электромагнитное воздействие на работу фидеров и громкоговорителей (динамиков), вызывая в последних шум или гул. Наведённые от контактной сети паразитные токи могут наводиться на опорах ПСГО и протекать через кабельные линии, тем самым достигая

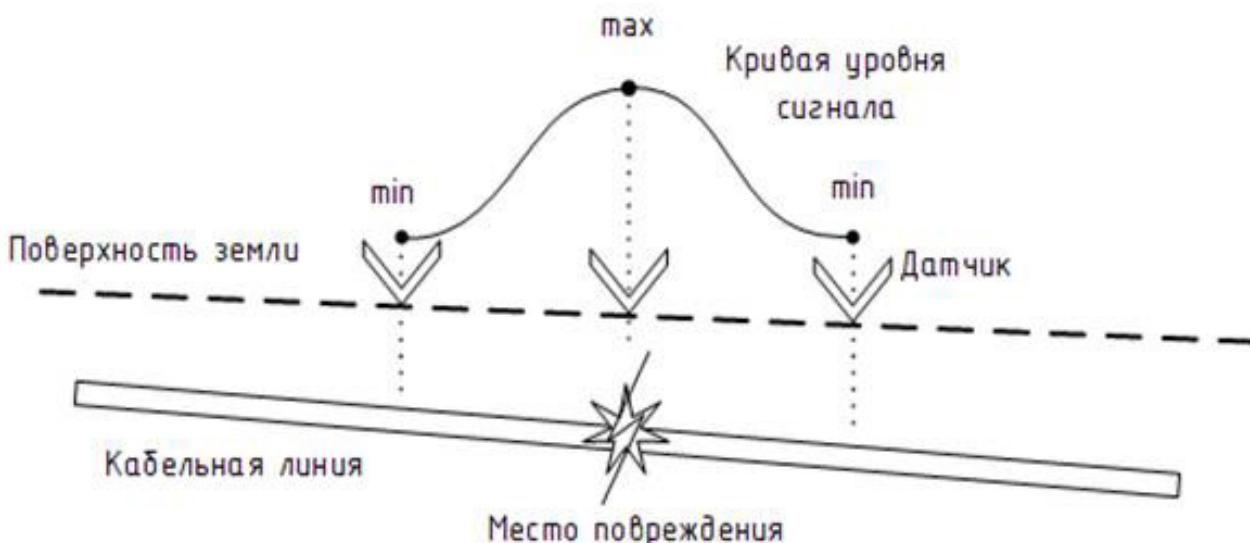


Рисунок 3 – Индукционный метод поиска повреждений

и повреждая постовые усилительные установки.

Таким образом, разработка и интеграция инновационных мероприятий по поиску неисправностей в производственный процесс даст возможность росту эффективности защиты оборудования и аппаратуры связи от негативных последствий промышленного и экологического характера.

Библиографический список

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года: утв. Распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 № 877-р // Министерство транспорта Российской Федерации: официальный портал. [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (дата обращения: 01.01.2025).

2. Глушко, В. П. Особенности функционирования линейных трактов ЦСП в сети связи РЖД / В. П. Глушко, В. В. Шмытинский // СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2022. – № 1(77). – С. 180-181. – EDN YMRTY.

3. Аппаратура станционной двухсторонней парковой связи с цифровой коммутацией для малых станций СДПС-Ц2. Руководство по эксплуатации ЕИУС.468351.054

РЭ. [Электронный ресурс]. URL: <http://old.stalenergo.ru/wp-content/uploads/2017/09/468351.054-RE.pdf> (дата обращения: 03.01.2025).

4. Сборник технико-нормировочных карт на техническое обслуживание кабельных линий связи, утв. 30 сентября 2019 г. (в редакции распоряжения от 8 февраля 2022 г. № ЦСС-226/р).

5. Приказ Минтруда России от 07.12.2020 N 867н "Об утверждении Правил по охране труда при выполнении работ на объектах связи" (Зарегистрировано в Минюсте России 21.12.2020 N 61650).

6. Распоряжение ОАО "РЖД" от 25.03.2009 N 610р (с изм. от 01.11.2017) "Об утверждении и введении в действие инструкции по техническому обслуживанию линейных устройств двухсторонней парковой связи на электрифицированных железных дорогах ОАО "РЖД".

7. Евдокимова, О. Г. Поиск, локализация и ремонт повреждений кабельных линий связи / О. Г. Евдокимова, Д. В. Бычков, А. В. Хайсов // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 12. – С. 15-17. – DOI 10.62994/AT.2024.12.12.003. – EDN IDAOJQ.

8. Котеленко, С. В. Методы определения мест повреждения кабельных линий / С. В. Котеленко // Известия Тульского государствен-

ного университета. Технические науки. – 2021. – № 12. – С. 81-84. – EDN LOZDHH.

9. Сулим, В. П. Пометки на полях / В. П. Сулим, Г. А. Тузов // Газ России. – 2013. – № 4. – С. 58-62. – EDN RPSVET.

Худоногов И.А.

Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения». Преподаватель кафедры «Электроэнергетика транспорта».

Антонов М.С.

Аспирант, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения». Электромеханик по обслуживанию устройств и аппаратуры связи Тайшетского Регионального Центра Связи ОАО «РЖД».

Khudonogov I.A.

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Irkutsk State Transport University. Lecturer, Department of Electric Power Engineering of Transport.

Antonov M.S.

Postgraduate student, Irkutsk State Transport University. Electromechanic for maintenance of communication devices and equipment at the Taishet Regional Communications Center of JSC Russian Railways.

Локализация повреждений фидерных линий станционной двухсторонней парковой связи

// LOCALIZATION OF DAMAGE TO THE FEEDER LINES OF THE STATION'S TWO-WAY PARK COMMUNICATION //

М. С. Антонов,
Иркутский государственный
университет путей сообщения,
г. Иркутск

В статье рассматривается проблематика определения повреждений фидерных линий ПСГО. Приведена характеристика возникновения неисправностей двухсторонней парковой связи, как от промышлен-

ных факторов, так и от природных. Дано описание электромагнитного влияния контактной сети на мачты громкого оповещения.

Ключевые слова: двухсторонняя парковая связь, кабельные линии, фидерные линии, повреждение.

The article discusses the problems of determining damage to the feeder lines

of park communication. A characteristic of the occurrence of malfunctions of two-way park communication from both industrial and natural factors is given. A description is given of the electromagnetic effect of the contact network on loud warning masts.

Keywords: two-way parking connection, cable lines, feeder lines, damage.

Современная инфраструктура железнодорожного транспорта представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных технико-технологических систем, обеспечивающих непрерывное функционирование и безопасность движения поездов. Немаловажную роль в организации слаженного перевозочного процесса играют устройства станционной двухсторонней парковой связи (СДПС).

В состав подсистем ДПС входят громкоговорители (динамики), нагруженные через фидерные линии, и парковые переговорные устройства (ППУ), реализованные по микрофонным линиям. Кабельные линии парковой связи часто располагаются в зонах озвучивания или оповещения с неблагоприятной обстановкой как промышленного характера, так и природного [1]. Вследствие данных факторов, появление повреждений фидеров обуславливает возникновение отказов, при которых система громкоговорящего оповещения оказывается в неработоспособном состоянии.

Жилы и провода подводимых кабелей в напольных муфтах, расшивающиеся на установленных внутри диэлектрических колодках, в местах соединений имеют высокую вероят-

ность образования гниения и коррозии из-за сырости, влажности, а также агрессивной окружающей среды. Следовательно, контакт жил кабеля и клемм колодки становится ненадёжным, что приводит к их обрыву, и последующей потере сигнала НЧ, эффективно передаваемая полоса частот которого на фидерную линию составляет порядка от

200 Гц до 8 кГц [2], между усилительной установкой и линией ППУ.

К снижению сопротивления изоляции или возникновению короткого замыкания, особенно в летнее время, может привести жизнедеятельность насекомых, в частности, муравьёв, которые возводят муравейники внутри напольных муфт. Это явление показано на рисунке 1 – перегон



Рисунок 1 – Муравейник в разветвительной муфте

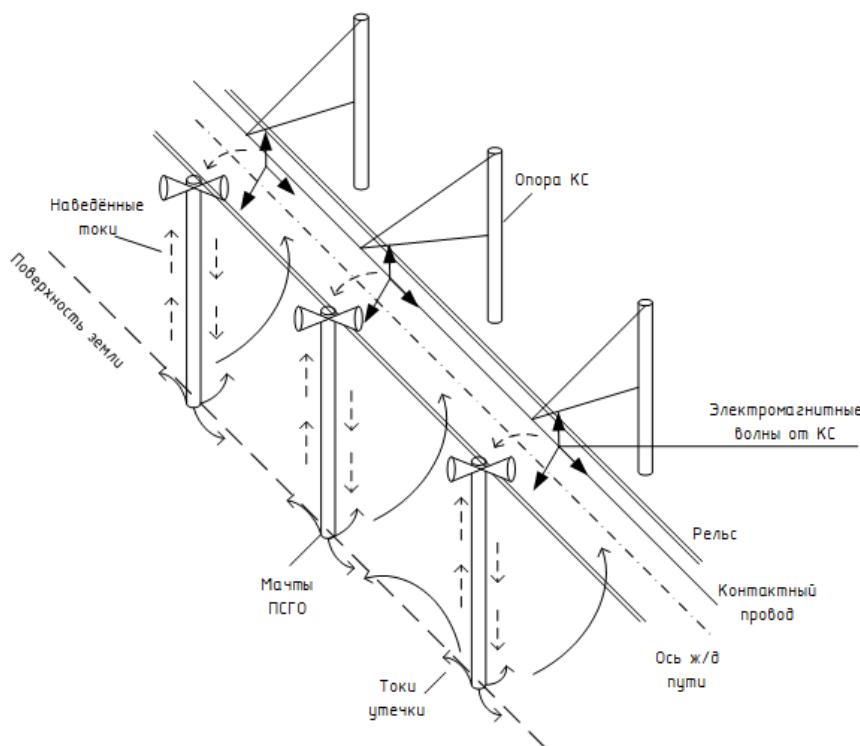


Рисунок 2 – Схема влияния электромагнитного поля от КС на мачты ПСГО

Тайшет – Акульшет. Методом борьбы с данным типом повреждений будет являться профилактическое обслуживание с определённой периодичностью проходных и концевых муфт согласно плану годового графика технологического процесса.

Электромагнитное влияние на фидерные линии от контактной сети электрифицированных железных дорог переменного тока характеризуется наведением напряжений и токов на опорах громкоговорящего оповещения. Индуцируемые токи, достигающие больших значений, могут выводить из строя громкоговорители, вызывая в них шум или гул высокой интенсивности. А при сниженной или повреждённой изоляции фидерных

линий наведённые токи будут протекать по кабелям, тем самым достигая и повреждая усилительное оборудование, размещаемое на посту электрической централизации. На рисунке 2 представлен механизм влияния электромагнитного поля, созданного контактной сетью (КС), на мачты парковой связи громкоговорящего оповещения (ПСГО). Наведённые токи от КС в мачтах громкого оповещения запускают деструктивные процессы, растекаясь по всей площади столбов. Следовательно, фидерные линии, подведённые к мачтам ПСГО, будут подвергаться регулярному воздействию наведённых токов от тяговой сети [3]. Эффект влияния будет сильнее, если целостность обо-

ложек кабельных линий нарушена или повреждена.

Диагностика и поиск повреждений происходит путём измерения сопротивления изоляции жил искомой кабельной линии мегаомметром в напольных муфтах. Так как проходящие речевые сигналы в системе парковой связи низковольтные, то допускается применять два способа проверки изоляции: замыкание на землю или взаимной изолированности жил. Разветвлённая кабельная сеть является причиной низкого сопротивления изоляции вне зависимости от направления измерения. Поэтому необходимо отсоединить уходящие жилы сторонних кабелей как на исследуемой, так и концевой муфтах участка (линии) измерения. Принцип измерения, изображённый на рисунке 3, заключается в отделении искомого фидера от других для упрощения схемы цепи. Также это поможет исключить неопределённость при низком сопротивлении и даст более высокую точность показаний мегаомметра относительно измеряемой линии. По сети железных дорог широко распространён цифровой прибор «Е6-24», работающий на базе микропроцессорных компонентов. Минимальное сопротивление изоляции должно составлять не менее 250 кОм [4].

Таким образом, возможно упростить процесс измерений кабельных линий и сократить трудозатраты персонала на идентификацию и локализацию неисправностей систем парковой связи, несмотря на разветвлённые сети фидерных линий на станциях и участках электрифицированных железных дорог.

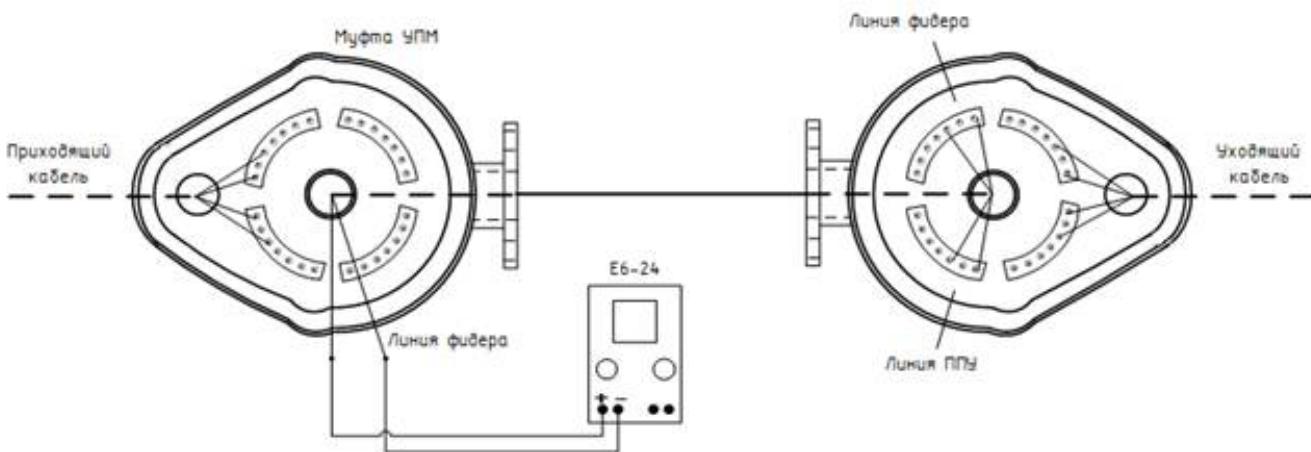


Рисунок 3 – Схема измерения сопротивления изоляции между жилами

Список литературы

1. Глушко, В. П. Особенности функционирования линейных трактов ЦСП в сети связи РЖД / В. П. Глушко, В. В. Шмыгинский // СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2022. – № 1(77). – С. 180-181. – EDN YMRDTY.

2. Руководство по эксплуатации «Усилителя модульного комбинированного четырехканального УМК-4х250» ООО «Пульсар-Телеком». Пенза 2014 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://rukovodstvorus.ru/usilitel-umk-4h250-rukovodstvo-ekspluataczi/?ysclid=m7nn2k>

wcaj53666620 (дата обращения: 28.01.2025).

3. Окунев, А. В. Комплексная диагностика при эксплуатации опор контактной сети / А. В. Окунев. – Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2022. – 98 с. – ISBN 978-5-94614-514-5. – EDN FFEBBX.

4. Евдокимова, О. Г. Поиск, локализация и ремонт повреждений кабельных линий связи / О. Г. Евдокимова, Д. В. Бычков, А. В. Хайсов // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 12. – С. 15-17. – DOI 10.62994/AT.2024.12.12.003. – EDN IDAOJQ.

Антонов М.С.

Аспирант, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения». Электромеханик по обслуживанию устройств и аппаратуры связи Тайшетского Регионального Центра Связи ОАО «РЖД».

Antonov M.S.

Postgraduate student, Irkutsk State Transport University. Electromechanic for maintenance of communication devices and equipment at the Taishet Regional Communications Center of JSC Russian Railways.

Внедрение технологий искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте

// IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES
IN RAIL TRANSPORT //

**Рыжова Е.Л., доцент, к.т.н.,
Петербургский
государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург**

В статье рассмотрены вопросы применения технологий искусственного интеллекта в железнодорожной отрасли. Рассказывается о концепции, технологиях, моделях и преимуществах интеллектуальных сетей, перспективах развития и конкретных разработках на основе этих технологий, которые могут быть применены или уже применяются в железнодорожной отрасли. Анализируется их состояние, приводятся характеристики компонентов, составляющих интеллектуальные сети, рассматриваются возможности внедрения искусственного интеллекта на же-

лезнодорожном транспорте в России. Описаны разработки в области искусственного интеллекта, а также варианты развития искусственного интеллекта в железнодорожной деятельности. В последние годы разработки в сфере искусственного интеллекта и его успешное внедрение на железнодорожном транспорте являются важным стимулом для дальнейших исследований и разработок в этой области.

Ключевые слова: искусственный интеллект, интеллектуальные системы, железнодорожный транспорт, технологии, компьютерное зрение, нейросеть, предиктивная аналитика, автоматизация

The article discusses the use of artificial intelligence technologies in the railway industry. The concept, technologies, models and advantages of

smart networks, development prospects and specific developments based on these technologies that can be applied or are already used in the railway industry are described. Their state is analyzed, the characteristics of the components that make up smart networks are given, and the possibilities of introducing artificial intelligence in railway transport in Russia are considered. Developments in the field of artificial intelligence are described, as well as options for the development of artificial intelligence in railway activities. In recent years, developments in the field of artificial intelligence and its successful implementation in railway transport are an important incentive for further research and development in this area.

Keywords: artificial intelligence, intelligent systems, railway transport, technology, computer vision, neural network, predictive analytics, automation

Внедрение интеллектуальных систем (ИС) в транспортной сфере в условиях глобализации является важным фактором для повышения эффективности, конкурентоспособности и безопасности железнодорожной отрасли. Разработки в области искусственного интеллекта (ИИ) могут оказать содействие при выявлении и обнаружении износа оборудования, опасных ситуаций, для оптимизации процесса перевозок на железнодорожном транспорте [1-4].

Технологии ИИ, которые используются в настоящее время в интеллектуальных сетях для железнодорожного транспорта:

- Интернет вещей (IoT) служит основой для сбора данных в реальном времени с помощью датчиков (температура, вибрация, местоположение, скорость и т.д.) и сенсоров, например, акселерометры, датчики давления.
- Искусственный интеллект исполь-

зуется, например, для прогнозирования – нейронные сети, для оптимизации маршрутов – генетические алгоритмы, линейное программирование.

- Блокчейн технологии применяются для обеспечения безопасности, отслеживания происхождения и движения грузов, управления логистическими операциями в режиме реального времени.
- Облачные технологии – инфраструктура для хранения и обработки данных.
- Компьютерное зрение применяется для управления путевыми машинами, контроля состояния путей, обнаружения препятствий на путях, распознавания номеров вагонов и т.д.
- Предиктивная аналитика позволяет прогнозировать отказы оборудования локомотивов на основе обработки данных бортовой telemetry. Например, анализируются

данные о вибрации подшипников, температуре масла в двигателе, давлении в тормозной системе и другие параметры. Для прогнозирования используются алгоритмы машинного обучения и нейронные сети, что позволяет заблаговременно выявлять потенциальные неисправности и планировать техническое обслуживание, снижая затраты на ремонт и увеличивая время безотказной работы локомотивов [1, 2, 5].

Применение технологии smart grid предполагает адаптивное управление технологическими процессами в системах электроснабжения железных дорог для обеспечения надёжного и качественного электроснабжения объектов железнодорожного транспорта, особенно наиболее ответственных потребителей, например, постов электрической и диспетчерской централизации. Применяются управляемые источники

мощности, которые поддерживают требуемый уровень напряжения в точке подключения питающей потребителя линии. В перспективе для систем электроснабжения железных дорог на основе технологий smart grid могут быть использованы автоматическое координированное поддержание оптимальных уровней напряжения в тяговой и распределительных сетях, распределенная оптимизация активной или реактивной мощности с учетом измеренных потерь, автоматическое управление спросом потребителей и отключениями или ограничением нагрузок для управления нормальными и послеаварийными режимами работы систем электроснабжения [6].

Еще одним примером интеграции искусственного интеллекта является использование интеллектуальных систем на железнодорожных станциях. Пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава оснащен компьютерным зрением и алгоритмами искусственного интеллекта, что позволяет получать актуальную и достоверную информацию о состоянии подвижного состава и груза. Система контроля перемещения вагонов и локомотивов на станции автоматически фиксирует простой подвижного состава, все технологические операции и в реальном времени формирует модель работы станции. Система контроля веса и вертикальных динамических нагрузок автоматически определяет массу железнодорожных подвижных единиц, неравномерную загрузку или смещение грузов в динамическом режиме. Микропроцессорные системы автоблокировки обеспечивают безопасность движения поездов на скоростных, магистральных и малодеятельных участках. [7, 8]. Также необходимо отметить применение компьютерного зрения в обеспечении безопасности труда и оптимизации трудовых процессов в ОАО «РЖД». Система видеоаналитики контролирует использование средств индивидуальной защиты и определяет тех, кто находится в неподходящем месте на рабочей площадке. При нормировании труда автоматическое выявление начала и конца работы позволяет сократить затраты времени на анализ видеозаписей для определения

временных затрат на выполнение персоналом различных трудовых операций. Автоматизация рутинных задач позволяет высвободить время персонала для более важных и креативных задач [9]. Применение компьютерного зрения для повышения безопасности и эффективности ремонтных работ является важным шагом в автоматизации и оптимизации железнодорожной инфраструктуры.

Создание в 2023 году Центра искусственного интеллекта во ВНИИЖТ демонстрирует перспективность использования искусственного интеллекта, стремление к инновациям и развитию ИИ-технологий для решения важных задач в железнодорожной отрасли, связанных с повышением безопасности, надежности и эффективности. Конкретным примером внедрения разработок в ОАО «РЖД» является применение предиктивной аналитики для повышения надежности и безопасности локомотивного парка. Автоматизированная система «Доверенная среда локомотивного комплекса» позволяет прогнозировать отказы оборудования, проводить профилактическое обслуживание подвижного состава, снижать количество неплановых ремонтов и повышать эффективность использования локомотивов. Кроме того, возможность прогнозирования нарушений машинистов с помощью ИИ и предоставление профилактических рекомендаций для работы локомотивных бригад является инновационным подходом к повышению безопасности, основанным на анализе данных, например, о режиме работы, медицинских осмотров, психологического тестирования машинистов. Универсальность предиктивной аналитики дает возможность применения разработанных моделей и алгоритмов в других отраслях, таких как прогнозирование простоев промышленного оборудования [2].

Применение больших языковых моделей (LLM, large language models) для анализа нормативной документации, отчетов о происшествиях, автоматического формирования отчетов, поиска оптимальных решений для управления движением дает возможность создания интеллектуального чат-бота для консультаций пассажиров о расписании поездов и

покупке билетов, о правилах проезда и маркетинговых функций, таких, как персонализированные предложения, уведомления об акциях [2, 5]. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) в железнодорожной отрасли, особенно в контексте тяжеловесного движения и обучения ИИ для моделирования различных ситуаций нормально работающего и неисправного подвижного состава может помочь настроить обучить искусственный интеллект посредством создания различных сценариев. Ограничением использования ИНС в обучении искусственного интеллекта являются высокие вычислительные затраты, что приводит к длительному времени обучения. Многообещающие возможности использования LLM и ИНС в железнодорожной отрасли для различных задач, от обслуживания пассажиров до обнаружения и анализа конкретных неисправностей показывают преимущества данных инновационных технологий, которые способны уделять внимание деталям и выявлять не только сами неисправности объектов железнодорожного транспорта, но и их причины [10, 11].

Применение искусственного интеллекта и компьютерного зрения для автоматического обнаружения дефектов в железнодорожной отрасли может совершить прорыв в безопасности и эффективности. Человеческий глаз может упустить мелкие детали, особенно в условиях высокой скорости и большого объема контролируемых параметров. ИИ способен анализировать огромные объемы данных, выявляя закономерности и аномалии, которые могут предшествовать серьезным поломкам. Предотвращение аварий и снижение издержек на ремонт – ключевые аргументы в пользу внедрения таких систем. Любая неисправность в одной части может повлиять на работу всей системы. Поэтому необходимо обучить ИИ рассматривать поезд, вагоны и рельсы как единый взаимосвязанный механизм. Использование изображений и видео для обучения ИИ распознаванию различных дефектов (трещины, износ, деформация) – это основа. Чем больше данных с четко указанными дефектами будет использовано для обучения, тем точнее будет система. Необхо-

димо научить ИИ выявлять признаки, указывающие на потенциальные неисправности еще до того, как они станут критическими. Здесь могут помочь методы анализа и прогнозирования неисправностей. Сбор и анализ данных о неисправностях позволит выявлять наиболее уязвимые места в системе, оптимизировать графики технического обслуживания и улучшать конструкцию элементов. Перспективный подход – комбинирование компьютерного зрения с физическими моделями поведения системы. Например, можно использовать данные с датчиков для калибровки моделей и прогнозирования остаточного ресурса элементов железнодорожной инфраструктуры. Плохое качество данных (низкое разрешение, плохая освещенность, недостаточная разметка) приведут к неточным результатам. Необходимо обеспечить высокое качество изображений для распознавания данных. Разные типы неисправностей требуют разных подходов. Например, обнаружение трещин на рельсах требует высокой детализации и специфических алгоритмов обработки изображений. Интеграция системы обнаружения дефектов с системой управления техническим обслуживанием позволит оперативно реагировать на выявленные проблемы и планировать необходимые ремонтные работы. Железнодорожная отрасль постоянно развивается, внедряются новые технологии и материалы. Поэтому необходимо регулярно обновлять модель ИИ, чтобы она оставалась актуальной и точной. Однако при использовании ИИ необходимо учитывать существующие системы мониторинга и диагностическое оборудование. Персонал должен быть обучен работе с новой системой и понимать ее возможности и ограничения. Таким образом, внедрение ИИ и компьютерного зрения в железнодорожной отрасли – это сложная, но очень перспективная задача. Правильный выбор технологий, качественная реализация и учет всех факторов позволят значительно повысить безопасность и эффективность железнодорожного транспорта [12].

Внедрение ИИ в ОАО «РЖД» уже идет, что подтверждает актуальность и перспективность его использова-

ния в железнодорожной отрасли. ИИ способен выполнять диагностику оборудования в режиме реального времени, прогнозируя возможные поломки и необходимость его технического обслуживания. В частности, автоматизированный комплекс «Эльбрус-М» используется от оптимизации графиков движения поездов до автоматизации работ по правке пути и выявлению дефектов рельс – трещин, сколов, коррозии, геометрических отклонений [13]. Это свидетельствует о том, что потенциал ИИ огромен. Обучение нейросети на данных путеизмерителя (изображения, данные с ультразвуковых датчиков, с лазерных сканеров и т.д.), качество и разнообразие которых критически важны для точности системы для разделения участков пути – это классический пример применения машинного обучения. Важно, чтобы система не пропускала опасные дефекты и при этом не выдавала слишком много ложных срабатываний. Кроме того, важно учитывать возможные ошибки, сбои и киберугрозы. Внедрение современных систем безопасности и связи не только снижает затраты на обслуживание, но и повышает уровень надежности и защиты от внешних угроз. Замена ручной проверки рельс на автоматизированную систему с использованием ИИ позволит повысить безопасность движения, скорость и точность обнаружения дефектов [2, 5]. Тем не менее, ИИ должен помогать человеку, а не заменять его полностью. Человек остается ключевым звеном в принятии решений, особенно когда речь идет о безопасности движения и предотвращении аварий.

Применение интеллектуальных систем на железнодорожном транспорте помогает предотвратить чрезвычайные ситуации и минимизировать риски на железнодорожных путях, способствуя повышению безопасности движения поездов. ИИ, анализируя огромные объемы данных, могут выявлять аномалии и предсказывать возможные опасности, что позволяет принимать превентивные меры. Интеграция данных от различных систем (мониторинг подвижного состава, контроль состояния инфраструктуры, метеоданные и т.д.) позволяет оперативно реагировать

на изменения условий движения и принимать обоснованные решения в сложных ситуациях. ИИ может обеспечивать дополнительный уровень контроля за действиями персонала, исключая человеческий фактор. Искусственный интеллект способен анализировать информацию и рекомендовать диспетчеру и другим участникам процесса движения экстренную остановку локомотива в случае обнаружения опасной ситуации [14].

Использование интеллектуальных систем на железнодорожном транспорте позволяет:

- Оптимизировать графики движения, управлять распределением подвижного состава, прогнозировать потребности в техническом обслуживании и ресурсах, что в итоге приводит к увеличению пропускной способности и сокращению времени простоев.
- Анализировать данные о грузах, маршрутах, складах и т.д., что сокращает затраты на логистические операции.
- Автоматически обнаруживать дефекты, контролировать действия персонала, прогнозировать опасные ситуации, способствуя снижению числа аварий.
- Оптимизировать режимы движения поездов, учитывая рельеф местности, погодные условия и загруженность сети, чтобы снизить потребление топлива и выбросы CO₂.
- Предоставлять более качественные и быстрые услуги, персонализированные предложения и своевременно информировать о статусе груза для повышения уровня удовлетворенности клиентов.

Все эти преимущества тесно взаимосвязаны, то есть оптимизация логистики способствует повышению эффективности использования ресурсов, а повышение безопасности повышает доверие клиентов. Для оценки эффективности внедрения интеллектуальных систем необходимо измерить показатели, улучшающие работу железнодорожного транспорта. Например, можно измерить увеличение пропускной способности, сокращение затрат на логистику, снижение числа аварий и

т.д. Внедрение интеллектуальных систем может привести к возникновению проблем: их высокая стоимость, сложность интеграции с существующими системами, необходимость обучения персонала, риски в области безопасности и конфиденциальности данных. Однако инвестиции в интеллектуальные системы на железнодорожном транспорте являются оправданными. Эти системы позволяют не только повысить эффективность и безопасность, но и улучшить экологичность и качество обслуживания клиентов.

Нельзя однозначно утверждать о неизбежности скорого развития современных интеллектуальных сетей на железнодорожном транспорте, но есть некоторые прогнозы и перспективы внедрения таких систем. Переход к полностью автоматизированным поездам (без машинистов) позволит существенно сократить затраты на персонал, но потребует огромных инвестиций в разработку надежных и отказоустойчивых систем безопасности. Важно также учитывать вопросы кибербезопасности и защиты от несанкционированного доступа. Цифровые двойники инфраструктуры и подвижного состава дадут возможность проводить виртуальные тестирования и моделирование и позволят выявлять потенциальные проблемы и узкие места до того, как они приведут к реальным катастрофам для повышения безопасности [1]. Создание единого информационного пространства, предоставление интеллектуальными системами пассажирам актуальной информации и адаптация ИИ к их потребностям позволит оптимизировать транспортные потоки и логистику, координировать действия разных участников процесса перевозок, улучшить взаимодействие между разными видами транспорта. Интеграция ИИ РЖД с «умными» городами обеспечит более эффективное управление городским трафиком и улучшение качества жизни горожан. Переход на альтернативные источники энергии и использование ИИ для минимизации негативного воздействия на окружающую среду – важный шаг к устойчивому развитию экологизации железнодорожной отрасли. Развитие интеллектуальных систем

управления на железнодорожном транспорте действительно может привести к значительным улучшениям в эффективности, безопасности и экологичности этой отрасли. Важно, чтобы процесс внедрения этих технологий был хорошо спланирован и реализован, с учетом всех потенциальных рисков и выгод.

При внедрении интеллектуальных систем на базе ИИ на железнодорожном транспорте России могут возникнуть некоторые вызовы, решение которых требует стратегического подхода и проработки различных аспектов. Внедрение цифровых технологий требует поэтапное обновление инфраструктуры, начиная с приоритетных участков, с использованием современных технологий, например, беспроводные сенсоры, IoT. Отсутствие единых стандартов для обмена данными и интеграции интеллектуальных систем вызывает необходимость разработки и внедрения унифицированных протоколов, форматов, интерфейсов и стандартов обмена данными для взаимодействия оборудования разных производителей, а также активного взаимодействие с международными организациями по стандартизации. Обеспечение безопасности данных требует внедрения комплексной системы кибербезопасности, включающей в себя защиту на уровне оборудования, программного обеспечения и персонала. Регулярное проведение аудитов безопасности будет стимулировать разработки отечественных решений и плана реагирования на инциденты по кибербезопасности. Необходима использование государственно-частного партнерства для привлечения значительных инвестиций при разработке бизнес-кейсов, демонстрирующих экономическую выгоду от поэтапного внедрения ИИ, начиная с pilotных проектов на отдельных участках. Для реализации стратегии повышения цифровой грамотности работников необходимо проведение разъяснительной работы с персоналом, подчеркивающей преимущества новых технологий и предлагающей возможности для переквалификации. Нехватка квалифицированных кадров потребует разработки программ обучения и переподготовки специалистов в об-

ласти ИИ и анализа данных на базе цифровых двойников и симуляторов, сотрудничества с университетами и другими образовательными учреждениями для подготовки кадров, организации стажировок за рубежом и привлечения иностранных специалистов для обмена опытом. Успех внедрения ИИ на железнодорожном транспорте зависит от комплексного подхода, включающего в себя технологические, организационные, финансовые и человеческие аспекты. Необходима стратегия, учитывающая все вышеперечисленные вызовы и предусматривающая конкретные шаги по их преодолению. Также важна постоянная оценка результатов и корректировка стратегии в зависимости от изменяющихся условий [5, 15].

Заключение

Оптимизация безопасности и качества – это ключевые приоритеты для железнодорожного транспорта, и искусственный интеллект может стать мощным инструментом для их достижения. Однако важно помнить о необходимости баланса между автоматизацией и человеческим контролем, а также о важности обучения персонала и постепенного внедрения новых технологий. ИИ может анализировать огромные объемы данных с датчиков, сенсоров и систем мониторинга для выявления аномалий и предсказания потенциальных аварийных ситуаций, что позволяет оперативно принимать меры по их предотвращению. Оптимизация маршрутов поездов, расписания, распределения вагонов и других логистических процессов с помощью ИИ приводит к повышению эффективности перевозок и снижению затрат. Применение ИИ дает возможность повысить эффективность работы персонала за счет автоматизации рутинных рабочих процессов, освобождая сотрудников для выполнения более сложных и творческих задач. Однако несмотря на то, что искусственный интеллект – это мощный инструмент для повышения эффективности работы железнодорожного транспорта, но он не должен работать полностью автономно. Человек должен контролировать его действия, особенно в критических ситуациях.

ациях. Постепенное внедрение ИИ с обучением персонала позволяет сотрудникам постепенно осваивать новые технологии и адаптироваться к новым условиям работы. Использование нейронных сетей, машинного обучения, аналитики больших данных, систем прогнозирования и поддержки принятия решений являются перспективными направлениями для автоматического управления движением поездов, оптимизации логистики, повышения энергоэффективности железнодорожной отрасли. Интеграция ИИ в различные системы управления и контроля позволит создать более безопасную, надежную и устойчивую железнодорожную систему. Опыт ОАО «РЖД» в применении технологий ИИ является ценным активом, который необходимо развивать. Важно продолжать исследования и разработки в этой области, обмениваться опытом и внедрять новые технологии.

Список литературы

- Буря Л. В., Котельников Д. Н., Меркулов С. Д. Интеллектуальные системы управления на российской железной дороге: эволюция логистики и цепочек поставок в эпоху цифровизации // Актуальные исследования. 2024. №50 (232). Ч. I. С. 6-10. URL: <https://apni.ru/article/10752-intellektualnye-sistemy-upravleniya-na-rossijskoj-zheleznoj-doroge-evolyuciya-logistiki-i-seropochek-postavok-v-epohu-cifrovizacii>
- Искусственный интеллект организует движение на железной дороге. <https://rzddigital.ru/projects/iskusstvennyy-intellekt-organizuet-dvizhenie-na-zheleznoy-doroge/>
- Степаненко Д.Ю. Применение искусственного интеллекта в железнодорожной отрасли // Научное обозрение. Технические науки. 2024. № 5. С. 19-23; URL: <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1483> (дата обращения: 15.08.2025). DOI: <https://doi.org/10.17513/srts.1483>
- Помозова Ю.А., Мастилин А.Е. Искусственный интеллект в высокоскоростных железнодорожных

гах // Научные междисциплинарные исследования. 2021. № 2. URL: https://pure.spbu.ru/ws/portalfiles/portal/85314544/_129_.pdf (дата обращения: 15.08.2025).

5. Как искусственный интеллект захватил железнодорожную дорогу. <https://dzen.ru/a/ZYUnZTnG4kyL3Tk8?ysclid=med44gf2b747324871>

6. Закарюкин, В. П. Резервное электроснабжение объектов железнодорожного транспорта на базе технологий интеллектуальных сетей / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, И. А. Любченко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 1(65). – С. 119-128. – DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).119-128. – EDN VLNWNY.

7. Железнодорожные системы управления. https://telematika.com/directions/railway_control_systems/

8. Как цифровая железнодорожная станция изменит железнодорожные дороги. <https://gudok.ru/vestnik/?ID=1599107>

9. Файзуллаева И.Г. Искусственный интеллект» и достижения и проблемы человечества. // Orienss. 2024. № 5. URL: <https://www.oriens.uz/journal/article/iskusstvennyi-intellekt-i-dostijeniya-i-problemi-chelovechestva/> (дата обращения: 15.08.2025).

10. Гатауллин А.Р. Искусственный интеллект в государственном управлении // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 3–2 (90). С. 22–28.

11. Стихаенко Р.М., Гаев Л.В. Искусственный интеллект в робототехнике // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 5–4. С. 68–71.

12. Никонова Я.И., Проскурякова Е.А. Цифровизация железнодорожных вокзальных комплексов // Инновационные транспортные системы и технологии. 2022. № 3. С. 55–67.

13. Акимов А.Е. Большие данные, искусственный интеллект и облачные технологии: цифровизация железнодорожных дорог // Инновации и инвестиции. 2023. № 3. С. 314–318.

14. Стратегия развития систем безопасности движения на железнодорожном транспорте. <https://studfile.net/preview/4550736/page:33/>

15. Скворцова И.В., Чаюк С.В., Багаева И.В., Нурулин М.Ю. Интеграция искусственного интеллекта в железнодорожный транспорт: вызовы, возможности и перспективы развития // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2025. № 3-1. С. 156-160; URL: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=4040> (дата обращения: 24.08.2025). DOI: <https://doi.org/10.17513/vaael.4040>

Рыжкова Елена Львовна

Родилась в 1967 году. В 2000 году окончила Петербургский государственный университет путей сообщения по специальности автомотика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте. В 2006 году защитила диссертацию по теме «Создание компьютерного тренажера-имитатора для обучения безопасным приемам труда». Кандидат технических наук. доцент кафедры «Электротехника и теплоэнергетика» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, доцент, к.т.н. Имеет 88 публикаций, из них 19 учебно-методических и 69 научных работ; патент – свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Имеет благодарность Министра транспорта РФ

Ryzhova Elena Lvovna

Born in 1967. In 2000, she graduated from St. Petersburg State University of Transport with a degree in automation, remote control and communications in railway transport. In 2006, she defended her dissertation on the topic "Creation of a computer simulator for teaching safe work practices." Candidate of Technical Sciences. Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Thermal Power Engineering, St. Petersburg State University of Transport of Emperor Alexander I, Associate Professor, Ph.D. Has 88 publications, of which 19 are educational and methodological and 69 scientific works; patent – certificate of state registration of a computer program. Has the gratitude of the Minister of Transport of the Russian Federation.

Электрооборудование транспортно-технологических средств – книги по дисциплине

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН



E_LANBOOK.COM

Эксплуатация наземных транспортно-технологических машин

В учебнике рассматривается система эксплуатации наземных транспортно-технологических машин в сфере строительного производства. К наиболее представительной группе этих средств механизации строительства относятся подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование. Приводятся общие понятия об эксплуатации технических объектов, изложены теоретические основы организации производственной и технической эксплуатации, даны основные понятия надежности машин и факторы ее снижения в эксплуатации. Рассмотрены организация использования машин на предприятии, задачи, решаемые на всех этапах их технической эксплуатации, а также современные системы обеспечения работоспособного состояния. Описаны типовые работы при техническом обслуживании строительных, подъемно-транспортных, дорожных средствах, их базовых шасси и рабочего оборудования, технологических автотранспортных средств. Рассмотрена система сервисного обслуживания как новая форма решения задач технической эксплуатации. Отдельные главы посвящены вопросам технической диагностики наземных транспортно-технологических

машин и проектированию ремонтно-эксплуатационных баз для их содержания.

Книга написана на основе материалов курса лекций по дисциплине «Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования», читаемых авторами в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете, и предназначена для обучения студентов по специальностям «Наземные транспортно-технологические средства», «Наземные транспортно-технологические комплексы», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». В учебнике использованы также материалы научных исследований и разработок, учебников и учебных пособий, опубликованных в России и за рубежом. Объем и содержание материала книги представляются авторам достаточными для приобретения базовых инженерных знаний в данной области.

Год издания: 2026

Авторы: Добромиров В. Н., Подопригора Н. В.

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ И ТРАНСПОРТИРУЮЩИЕ МАШИНЫ



В. Ф. Константинов



E_LANBOOK.COM

Грузоподъемные и транспортирующие машины

Рассмотрено назначение грузоподъемных и транспортирующих устройств, дана их общая классификация. Приведен анализ типов привода грузоподъемных машин. Изложены методы расчета отдель-

ных механизмов, а также приведены конструкции грузоподъемных и транспортирующих машин, пневмо-транспортных установок, применяемых для транспортных операций на предприятиях. По всем разделам приведены практические примеры расчета, а также необходимые справочные материалы.

Соответствует современным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным квалификационным требованиям.

Пособие предназначено для студентов средних специальных учебных заведений.

Год издания: 2026

Авторы: Константинов В. Ф.

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

БЕСПИЛОТНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

Инновационные
роботизированные
системы на суше,
воде и воздухе



В. В. Лозовецкий
E_LANBOOK.COM

Беспилотные транспортные средства. Инновационные роботизированные системы на суше, воде и воздухе

В учебном пособии подробно описаны беспилотные транспортные средства (БПТС), предназначенные для использования в качестве наземных и подземных транспортных средств, надводных и подводных устройств и беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрена возможность их применения в гражданских и военных целях. Приведена их характеристика, анализируются перспективы развития, даны некоторые методы расчета, понят-

ные читателю, получившему среднее образование.

Учебное пособие предназначено для широкого круга читателей, учащихся старших классов школы, колледжей и специалистов соответствующих предприятий.

Год издания: 2025

Авторы: Лозовецкий В.В.

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ



А. Л. Золкин
Р. А. Вербицкий



E.LANBOOK.COM

Технологии искусственного интеллекта в управлении движением беспилотных автомобилей

Целью данного учебного пособия является предоставление студентам и исследователям фундаментальных и передовых знаний в области технологий искусственного интеллекта в управлении движением беспилотных автомобилей. В первой главе освещаются основные понятия и история развития беспилотных автомобилей, а также принципы работы и структура систем управления движением. Во второй главе рассматривается широкий спектр сенсорных технологий, включая типы датчиков, их применение и обработку данных. В третьей главе анализируются алго-

ритмы принятия решений и планирование маршрута в беспилотных автомобилях. Четвертая глава посвящена сетевым аспектам, включая технологии связи V2X, безопасность сетей и защиту данных.

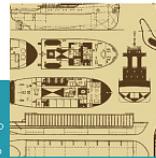
Учебное пособие предназначено для специалистов и исследователей, изучающих аспекты беспилотных автомобилей, включая основы технологии связи V2X, безопасность сетей и защиту данных, а также обмен информацией между беспилотными автомобилями и инфраструктурой.

Год издания: 2025

*Авторы: Золкин А. Л.,
Вербицкий Р. А.*

СРЕДНЕЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА



М. А. Москаленко
И. Б. Друзь
А. Д. Москаленко



E.LANBOOK.COM

Транспортные средства

Учебное пособие содержит сведения о технических и эксплуатационных характеристиках транспортных средств четырех видов транспорта: автомобильного, железнодорожного, воздушного и водного.

Соответствует современным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным квалификационным требованиям.

Учебное пособие предназначено для студентов транспортных техникумов и колледжей.

Год издания: 2025

*Авторы: Москаленко М. А.,
Друзь И. Б., Москаленко А. Д.*

СРЕДНЕЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ШАХТ И РУДНИКОВ



А. К. Николаев
К. Г. Сазонов
В. В. Пшенин



E.LANBOOK.COM

Транспортные машины и оборудование шахт и рудников

В книге изложены основы теории, конструктивных решений, выбора и эксплуатационного расчета оборудования шахт и рудников, правила их эксплуатации и охрана труда. Рассмотрены используемые и перспективные конструкции транспортных машин для угольных и рудных шахт, приведены их основные характеристики.

Соответствует современным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным квалификационным требованиям.

Учебное пособие предназначено для студентов горно-геологических колледжей и техникумов.

Год издания: 2025

*Авторы: Николаев А. К.,
Сазонов К. Г., Пшенин В. В.*

О международной выставке "ЭлектроТранс"



28-30 апреля 2025 г. в Москве в ЦВК "Экспоцентр" прошла 14-я международная выставка "ЭлектроТранс 2025". Выставка "ЭлектроТранс" проходила в рамках Российской недели общественного транспорта и городской мобильности одновременно с 18-й международной выставкой информационных технологий и электроники для транспорта Электроника-Транспорт 2025, 7-й специализированной выставкой TransportLight 2025 и 8-й специализированной выставкой автобусной техники и комплектующих CityBus-2025.

106 организаций приняли участие в экспозиции и деловой программе (138 – общее количество участников мероприятий Российской недели общественного транспорта и городской мобильности 2025), из них со стендами – 86 компаний. Количество посетителей – 3200 человек из 60+ городов.

"ЭлектроТранс" – первая в мире и единственная в России выставка, посвященная **всему комплексу вопросов развития электрической мобильности в городах**.

Миссия выставки – способствовать электрификации городского транспорта: общественного, служебного, коммунального, промышленного, специального. Выставка предоставляет эффективную коммуникационную площадку для общения специалистов, заинтересованных в формировании прогрессивного облика городской мобильности.

В 2026 году XV международная выставка "ЭлектроТранс 2026" пройдет **9-11 июня 2026 г. на ВДНХ** в

рамках Российской недели общественного транспорта и городской мобильности

Выставка "ЭлектроТранс" организуется **с 2011 года** при содействии отраслевых ассоциаций, общественных движений, профсоюзов, федеральных и муниципальных органов власти. Экспозиция и деловая программа интересны руководителям и специалистам предприятий городского общественного транспорта, муниципальных образований, федеральных органов исполнительной и законодательной власти, а также экспертам из проектных организаций, учебных заведений, поставщикам подвижного состава, продукции и услуг.

Общественный транспорт – **основа транспортной сети** современного города. Электрический общественный транспорт работает в 500+ городах мира. В нашей стране действуют 7 метрополитенов и более 100 трамвайных и троллейбусных предприятий. 75% населения России пользуются общественным транспортом, ежегодный пассажиропоток которого – более 18 млрд поездок. 90% ВВП формируют урбанизированные территории: то есть города генерируют львиную долю благосостояния, а их экономический потенциал во многом определяется качеством городской транспортной системы.

Электрический общественный транспорт – трамвай (ЛРТ), троллейбус (электробус), метрополитен, канатная дорога, городская и пригородная электричка, с недавних пор – речные электрические суда –

это самый экологичный и во многих случаях самый эффективный способ обеспечения мобильности населения и устойчивости развития городов.

В нашей стране, как и во всем мире, активно развивается **коммерческий, служебный, коммунальный, корпоративный электротранспорт**, появляется все больше зарядных станций. В 2024 г. продано более 18 000 электромобилей (+27%), эксплуатируется около 140 000 (для сравнения – в Белоруссии 44 000). С каждым годом расширяются соответствующие разделы выставки "ЭлектроТранс".

С 2019 года ежегодно выпускается информационный сборник "Российский общественный транспорт и городская мобильность".

Начиная с 2021 года оргкомитет выставки проводит **Всероссийские совещания по развитию электротранспорта и сопутствующей инфраструктуры**:

- 2025: 5-е Всероссийское совещание и выставка "ЭлектроТранспорт Юга России", г. Пятигорск, 29-30 октября 2025 г.
- 2024: 4-е Всероссийское совещание и выставка "ЭлектроТранспорт Урала", г. Екатеринбург, УрФУ, 26-27 сентября 2024 г.
- 2023: 3-е Всероссийское совещание и выставка "ЭлектроТранспорт Юга России", г. Сочи
- 2022: 2-е Всероссийское совещание, г. Москва, ТПП РФ
- 2021: 1-е Всероссийское совещание, г. Казань, КГЭУ

Источник: electrotrans-expo.ru

Электропоезд ЭП2ДМ - победитель национальной премии «Формула движения»



Москва, 18 ноября 2025 г. Электропоезд постоянного тока ЭП2ДМ стал победителем национальной премии за достижения в области транспорта и транспортной инфраструктуры «Формула движения» в номинации «Лучшее инновационное решение в сфере транспортной техники».

Были рассмотрены 115 заявок, из которых выбраны лучшие примеры реализованных проектов, и они будут рекомендованы регионам для внедрения в транспортную жизнь.

Электропоезд ЭП2ДМ производится на территории России из отечественных комплектующих и включен в Реестр российской промышленной продукции Минпромторга России.

Созданию технологической новинки способствовало софинансирование со стороны Фонда развития промышленности РФ. Подвижной состав изготовлен с учетом пожеланий пассажиров и компаний-перевозчиков.

ЭП2ДМ – модифицированная модель современной платформы электропоездов, позволяющей организовать комфортные пассажир-

ские перевозки на электрифицированных участках железных дорог колеи 1520 мм при номинальном напряжении контактной сети 3000 В постоянного тока для обеспечения пригородных перевозок пассажиров с максимальной эксплуатационной скоростью 120 км/ч.

Электропоезд соответствует самым высоким требованиям комфорта и безопасности. Кузов изготовлен с применением вибро- и звукоизоляционных материалов, установлены герметичные тонированные стеклопакеты. В экстерьере использованы современные решения.

Подвижной состав приспособлен для выхода как на высокие, так и на низкие платформы (за счет специальной выдвижной подножки). Вагоны оборудованы системой кондиционирования с обеззараживанием воздуха, туалетными комплексами.

Экстерьер и интерьер поезда разработан Центром промышленного дизайна «Лаб 20/50» и соответствует принятой в Трансмашхолдинге концепции «ДНК бренда».

В салонах головных вагонов создана безбарьерная среда для

людей с ограниченными возможностями – установлены подъемные устройства, спроектированы доступные туалетные комплексы. В салонах определены специальные для колясок, снаженные креплениями. Информационные таблички продублированы шрифтом Брайля.

Национальную премию «Формула движения» учредил в 2014 году Общественный совет Минтранса России, она традиционно проводится в рамках Транспортной недели.

В разные годы техника ТМХ – поезда метро «Москва 2020» и «Балтиец», электропоезд постоянного тока ЭГЭ2Тв «Иволга 3.0» – заслуживала в премии призовые места.

ТМХ является единственным в России разработчиком и крупнейшим производителем поездов метро, одним из лидеров мирового метровагоностроения. Работы по созданию новых образцов продукции осуществляют действующие в рамках группы ТМХ инженерные центры «ТМХ Инжиниринг» и «Центр двигателестроения ТМХ».

Источник: lab2050.ru